BIBLIOTHEK MARINENS

NOTICES

SUR

LES DESSINS, MODÈLES ET OUVRAGES

RELATIFS AUX SERVICES

DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES

DES BÂTIMENTS CIVILS ET PALAIS NATIONAUX

EXPOSITION UNIVERSELLE À MELBOURNE

EN 1880

FRANCE

NOTICES

SUR

LES DESSINS, MODÈLES ET OUVRAGES

RELATIFS AUX SERVICES

DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES

DES BÂTIMENTS CIVILS ET PALAIS NATIONAUX

RÉUNIS

PAR LES SOINS DU MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

PARIS

IMPRIMERIE NATIONALE

M DCCC LXXX

Udgaaet
af
Marinebiblioteket

Digitized by the Internet Archive
in 2017 with funding from
Getty Research Institute

https://archive.org/details/expositionuniver00fran_1

AVERTISSEMENT.

Les Administrations publiques de la France ont toujours tenu à honneur de se faire représenter aux Expositions internationales qui se sont succédé depuis près de quinze ans.

Conformément à de nombreux antécédents, le Ministère des travaux publics a réuni, pour l'envoyer à Melbourne, une collection de dessins, de modèles et d'ouvrages propres à donner une idée des travaux des Ponts et Chaussées, des Mines et des principales branches de l'Administration centrale pendant des dernières années.

L'Exposition universelle de 1878 était de date trop récente pour qu'on dût exclure de celle de Melbourne toutes les œuvres qui ne seraient pas essentiellement nouvelles. Il a donc fallu se borner à faire un choix parmi les travaux les plus remarquables et les plus récents, mais dont quelques-uns peuvent être déjà partiellement connus. En raison du peu de temps dont on disposait pour la préparation des dessins, on a dû se

contenter de donner des vues générales de la plupart des ouvrages exposés.

Pour suppléer à l'insuffisance des détails, de nombreuses gravures ont été insérées dans les notices destinées à faciliter l'intelligence des dessins, modèles, etc.

Les explications sommaires données sur les points les plus intéressants y gagnent ainsi en clarté, et les ingénieurs peuvent y trouver, sous forme condensée, des renseignements précieux pour la pratique.

Le présent volume se partage en trois parties :

PREMIÈRE PARTIE.

PONTS ET CHAUSSÉES.

1re section. — Routes et ponts.
2e section. — Service hydraulique.
3e section. — Navigation intérieure.
4e section. — Travaux maritimes.
5e section. — Phares et balises.
6e section. — Chemins de fer.
7e section. — Documents généraux.

DEUXIÈME PARTIE.

MINES.

Section unique. — Documents généraux. — Géologie expérimentale. — Géologie synthétique. — Carte géologique de la France.

TROISIÈME PARTIE.

BÂTIMENTS CIVILS ET PALAIS NATIONAUX.

Une traduction, faite avec le plus grand soin, reproduit littéralement en anglais le texte du présent catalogue. Ce travail a été confié à M. le traducteur David Coales; il constitue un volume à part, spécialement destiné aux visiteurs des pays de langue anglaise.

L'exposition du Ministère des travaux publics a été organisée par les soins d'une Commission présidée par M. le Sous-Secrétaire d'État Sadi-Carnot et composée de :

MM. Allard, inspecteur général des Ponts et Chaussées, directeur du Service central des Phares;

Collignon, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, inspecteur de l'École des Ponts et Chaussées;

Dartein (De), ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, professeur à l'École des Ponts et Chaussées;

Daubrée, inspecteur général des Mines, directeur de l'École des Mines;

Demanche, directeur du Personnel et des Mines au Ministère des travaux publics;

Dupont, inspecteur général des Mines, inspecteur à l'École des Mines;

Durand-Claye, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, professeur à l'École des Ponts et Chaussées;

MM. Lalanne, inspecteur général des Ponts et Chaussées, directeur de l'École des Ponts et Chaussées;

Picard, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, directeur du cabinet de M. le Ministre des travaux publics;

Rousseau, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, directeur des Routes et de la Navigation;

Véron-Duverger, inspecteur général des Ponts et Chaussées, directeur général des Chemins de fer;

Chemin, ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées, répétiteur à l'École des Ponts et Chaussées, *secrétaire*.

MM. de Dartein et Chemin ont été chargés, sous la direction de M. Lalanne, de l'organisation de l'Exposition et de la préparation des dessins, ouvrages, catalogues, etc. M. Boulard, chef du bureau de dessin de l'École, les a très utilement secondés dans cette tâche.

M. Journet, ingénieur des Ponts et Chaussées, a été détaché à Melbourne pour installer l'exposition du Ministère des travaux publics, avec mission de fournir aux ingénieurs étrangers toutes les explications qu'ils pourraient désirer.

PREMIÈRE SECTION.

ROUTES ET PONTS.

I

PONT DES ANDELYS,

SUR LA SEINE.

(DÉPARTEMENT DE L'EURE.)

ROUTE DÉPARTEMENTALE N° 15.

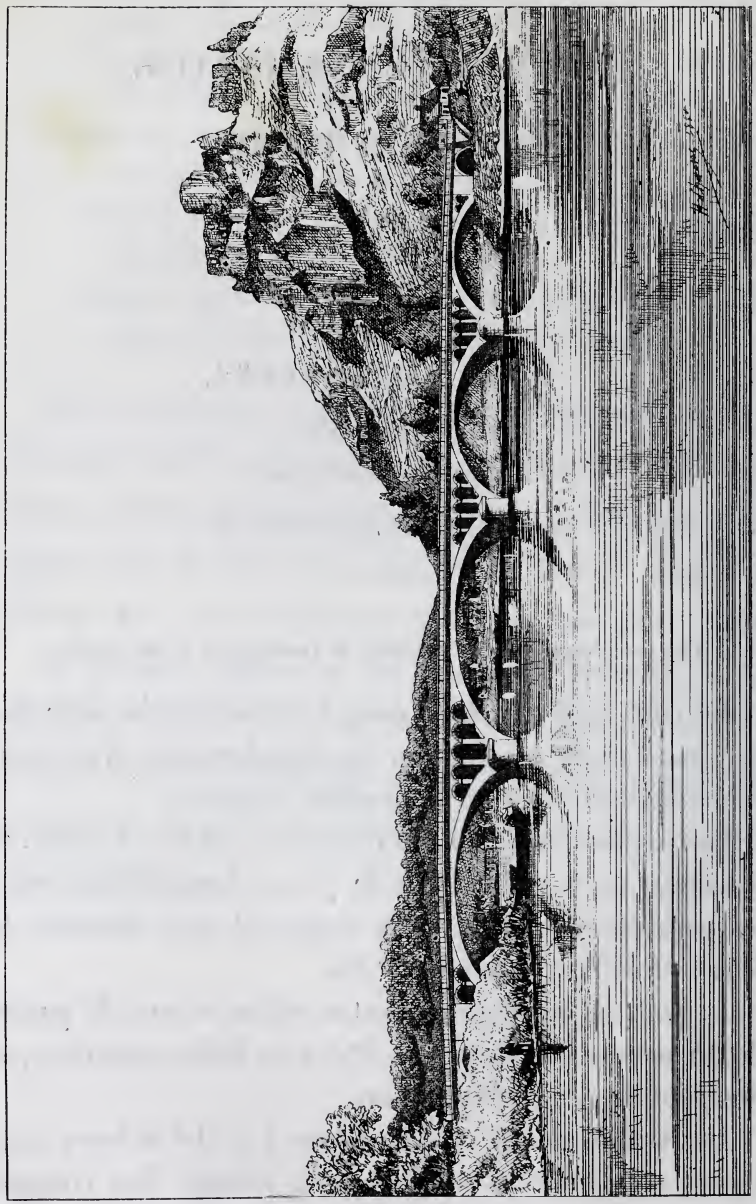
Une vue pittoresque de l'ensemble de l'ouvrage et de ses abords.

Le pont a été construit pour le service de la route départementale n° 15 (Eure), en remplacement d'un pont suspendu détruit en 1870 pendant la guerre.

La longueur totale, culées comprises, est de $181^{m},60$, et la largeur en couronnement de $7^{m},20$; l'espace libre entre les parapets est de $6^{m},70$ et comprend une chaussée de $5^{m},10$ et deux trottoirs de $0^{m},80$.

Le pont est composé de quatre arches en anse de panier de 34 mètres d'ouverture et $8^{m},80$ de flèche, séparées par des piles de $3^{m},50$ d'épaisseur.

Les voûtes ont $1^{m},10$ d'épaisseur à la clef et leurs naissances sont à $0^{m},50$ au-dessus de l'étiage. Les tympans sont évidés, dans le sens transversal comme dans le sens



longitudinal, par des voûtes en plein cintre de $2^{m},10$ de diamètre, reposant sur des pilastres carrés de hauteur variable et de $0^{m},70$ de côté au sommet.

Dans chaque culée, on a ménagé une arche de décharge en plein cintre de 7 mètres d'ouverture.

Les piles sont fondées sur des massifs de béton coulé dans des caissons sans fond; elles reposent sur un banc de craie compacte mis à nu à l'aide de dragages et dont la surface se rencontre à 6 ou 8 mètres au-dessous des plus basses eaux.

Pour les culées, on a utilisé les fondations sur pilotis de l'ancien pont suspendu, en ajoutant sur chaque rive une rangée supplémentaire de vingt pieux.

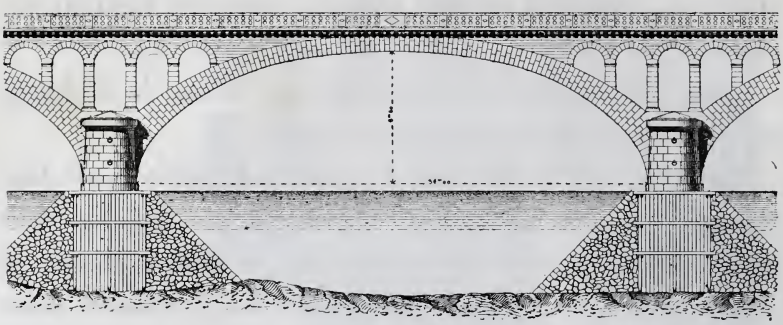
L'État n'avait alloué, pour l'exécution des travaux, qu'une subvention de 200 000 francs, représentant la valeur du pont suspendu détruit pendant la guerre; le département disposait de peu de ressources et néanmoins réclamait expressément un pont fixe, de sorte qu'on a dû rechercher, dans l'étude du projet, les dispositions les plus propres à réduire la dépense au chiffre le plus faible possible.

C'est dans ce but qu'on a multiplié les évidements des tympans et qu'à l'exception des têtes de voûtes, qui sont en moellons piqués de Vernon, on a exécuté le pont entier en maçonnerie ordinaire.

On n'a fait usage du mortier de ciment que pour les grandes voûtes. Partout ailleurs, y compris le béton des fondations, on a employé le mortier ordinaire avec chaux hydraulique de Senonches ou de Bougival.

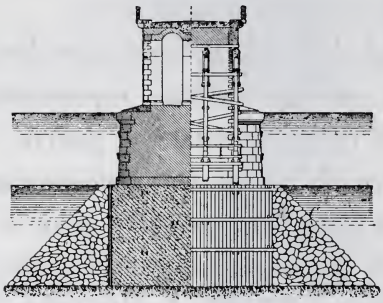
La dépense totale n'a atteint que la somme de $290\,782^{f},22$ comprenant $278\,833^{f},51$ de travaux à l'entreprise et $11\,948^{f},71$ de dépenses en régie.

Eu égard aux dimensions de l'ouvrage, ces chiffres cor-

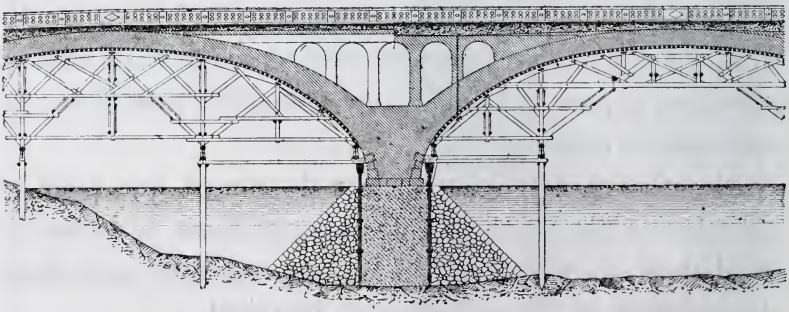


Élévation d'une arche marinière.

Demi-coupe transversale d'une pile.



Demi-coupe transversale d'une arche.



Coupes longitudinales et cintres.

respondent à une moyenne de 1 601^{f},22 par mètre courant, et de 222^{f},39 par mètre superficiel.

La construction, commencée en mai 1872, était terminée en novembre 1873, et le pont était livré à la circulation le 1er décembre suivant.

Les études ont été faites et les travaux ont été dirigés par M. Degrand, ingénieur en chef, et par M. Cordier, ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées. Conducteur, M. Chupeau-Hauteville; entrepreneur, M. Dupont.

II

PONT DE CLAIX,

SUR LE DRAC.

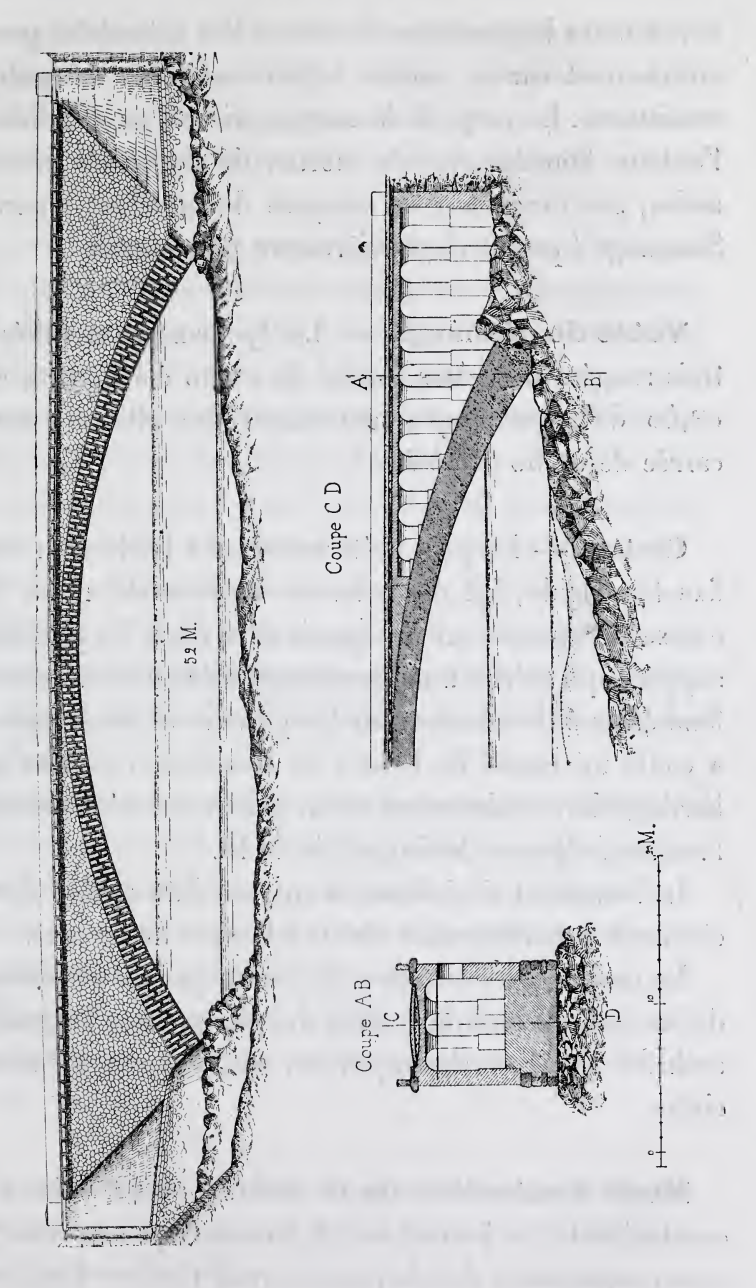
(DÉPARTEMENT DE L'ISÈRE.)

ROUTE NATIONALE N° 75.

Forme extérieure de l'ouvrage. — Le pont de Claix, situé à 8 kilomètres au sud de Grenoble, présente extérieurement la forme d'une arche unique en arc de cercle à culées perdues, de 50 mètres d'ouverture, $7^{m},40$ de flèche et 46 mètres de rayon. Les bandeaux de la voûte sont en pierre de taille de Sassenage parementée en bossages. Leur épaisseur est de $1^{m},20$ à la clef, de $2^{m},20$ aux naissances. Ils sont extradossés suivant un arc de cercle de $54^{m},40$ de rayon et surmontés de tympans en moellons appareillés à joints de hasard. Une plinthe en pierre de taille et un bahut plein couronnent les tympans.

Des quarts de cône, en partie gazonnés, en partie perreyés, relient le pont aux remblais avoisinants.

Dimensions réelles de la voûte. — La voûte a une ouverture réelle de 52 mètres, une épaisseur de $1^{m},50$ à la clef, de $3^{m},10$ aux naissances. Elle est extradossée suivant un arc de cercle de $58^{m},30$ de rayon. Sa largeur est de


52 M.
Coupe C D
A
B
Coupe A B
C
D
0
10
20 M.

$8^m,20$ entre les ciselures des têtes. Les retombées portent directement sur un rocher calcaire schisteux de médiocre consistance. Le corps de la maçonnerie est en moellons de Fontaine hourdés avec du mortier de ciment; la première assise, par exception, se compose de moellons blancs de Sassenage équarris et grossièrement parementés.

Voûte de décharge. — Les tympans sont reliés par trois rangées de voûtes d'arête de $1^m,50$ d'ouverture et de $0^m,40$ d'épaisseur, que soutiennent des piliers à section carrée de $0^m,80$ de côté.

Cintre. — Le pont a été construit à l'aide d'un cintre fixe très rigide, fait de six fermes espacées de $1^m,50$ d'axe en axe et reposant sur six appuis en rivière. Le seul de ces supports qui mérite une mention spéciale est un caisson sans fond échoué directement sur les graviers et dans lequel on a coulé un massif de béton; les montants verticaux et le bordage de ce caisson pouvaient glisser entre les moises de manière à épouser les inégalités du lit.

Le batardeau ainsi formé et entouré d'un cordon d'enrochements a parfaitement résisté à l'action du torrent.

Le montage des fermes a été facilité par un petit chemin de fer qui, partant de l'atelier des charpentes, longeait les arches à l'aval et s'appuyait sur les supports mêmes du cintre.

Mode d'exécution de la voûte. — La voûte a été construite du 20 janvier au 26 février 1874, en deux anneaux superposés, dont le premier avait 1 mètre d'épaisseur

en naissance et $0^m,50$ à la clef. Chaque anneau se subdivisait en quatre tronçons d'égal volume auxquels travaillaient à la fois quatre équipes partant, les unes des naissances, les autres des reins, et marchant ensemble vers la clef.

Aux retombées, et sur une longueur d'environ $0^m,80$, on a appliqué contre les culées une maçonnerie à pierres sèches faite avec beaucoup de soin, et c'est sur cette maçonnerie provisoire qu'ont été appuyés les tronçons inférieurs du premier anneau. Les deux tronçons supérieurs étaient soutenus par des madriers et des taquets d'arrêt.

En même temps, on posait sur cales les deux premiers voussoirs inférieurs des bandeaux en pierre de taille.

Lors de la fermeture de l'anneau à la clef et aux reins, on remplaça, à l'aide d'une reprise en sous-œuvre, les pierres sèches des retombées par de la maçonnerie pleine.

Le second anneau a été exécuté tout entier en maçonnerie pleine.

Cette manière de procéder a eu l'avantage de réduire la charge et le tassement du cintre et d'offrir une plus grande facilité pour la reprise des maçonneries. La fermeture simultanée du premier anneau aux naissances et à la clef a eu pour effet de soustraire les joints de naissance, qui coïncident avec les joints de rupture, à l'action du tassement du cintre, et d'éviter ainsi des fissures impossibles à fermer.

Tirants en fer. — Sept tirants en fer, entièrement noyés dans les maçonneries, relient l'un à l'autre les bandeaux en pierre de taille.

Composition des mortiers. — Le mortier employé à la construction de la voûte se composait de 1 litre de sable du Drac pour 1 kilogramme de ciment artificiel Vicat. La résistance moyenne par centimètre carré atteignait, au bout d'un mois et en nombres ronds, 179 kilogrammes à l'écrasement, 15 kilogrammes à l'arrachement. Des essais successifs ont accusé depuis une résistance maximum de 260 kilogrammes à l'écrasement et de 35 kilogrammes à l'arrachement.

Le mortier des tympans et des voûtes de décharge contient 2 litres de sable du Drac pour 1 kilogramme de ciment artificiel Vicat.

Tassement du cintre. — Le tassement du cintre n'a pas dépassé $0^{m},004$. Il s'est arrêté complètement après la fermeture du premier anneau de la voûte.

Décintrement. — Le décintrement a eu lieu le 10 avril 1874, soit quarante-deux jours après l'achèvement de la voûte. La veille, des boîtes à sable avaient été substituées une à une aux billots sur lesquels reposait le cintre. L'opération dura en tout vingt minutes. On ne constata dans la voûte aucune déchirure; pas un joint ne s'ouvrit, et il n'y eut pas d'abaissement appréciable à la clef.

Pressions supportées par les maçonneries. — La pression maximum supportée par les maçonneries de la voûte atteint 21 kilogrammes par centimètre carré à la clef; aux naissances, la pression totale, sur toute la largeur du

pont, qui a 8 mètres entre les têtes, est de 3 100 000 kilogrammes.

Mouvements postérieurs au décintrement. — L'influence des variations de température est très sensible sur une voûte aussi grande que celle du pont de Claix. Pour un écart de 52° (de — 7° à + 45°), on a constaté une oscillation du sommet de l'arche de $0^{m},007$. En outre, il s'est manifesté dans les joints des bahuts, de la plinthe et des tympans quelques fissures, qui disparaissent l'été pour se produire à nouveau pendant l'hiver.

La voûte proprement dite n'a subi aucune déchirure et les joints de naissance ne se sont pas ouverts.

Dépenses de construction. — Les dépenses de construction ont atteint 139 563f,69.

Cette somme se répartit comme il suit :

Dragages et déblais pour fondations		2 326f,78
Maçonnerie des supports du cintre		3 780 ,64
Charpente des supports		5 562 ,33
Enrochements		1 600 ,56
Cintre proprement dit		19 264 ,63
Maçonnerie de la voûte	Moellons	45 435 ,40
	Pierres de taille	11 207 ,71
Tympans, voûtes de décharge, murs et béton de remplissage		26 757 ,42
Bandeaux en pierre de taille		15 208 ,35
Trottoirs, rigoles, perrés et abords		8 419 ,87
Total pareil		139 563 ,69

Par rapport aux dimensions de l'ouvrage, cette somme se décompose de la façon suivante :

Par mètre linéaire d'ouverture.....	2 683f,91
Par mètre linéaire de longueur des parapets.	1 836 ,36
Par mètre carré en plan entre les naissances.	331 ,35
Par mètre carré en plan entre les parapets..	251 ,56
Le cintre a coûté par mètre carré de douelle.	68 ,15

Les auteurs du projet sont MM. Berthier, ingénieur en chef, et Pasqueau, ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées. Les travaux ont été exécutés, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Gentil, par M. l'ingénieur ordinaire Pasqueau jusqu'au 15 octobre 1873, et, à partir de cette date, par M. l'ingénieur ordinaire Cendre.

M. le conducteur Thiervoz a été chargé de la surveillance du chantier.

Les entrepreneurs étaient MM. Muguet frères.

III

FONDATIONS DU PONT DE COLLONGES,

SUR LE RHÔNE.

CAISSON À AIR COMPRIMÉ AVEC ÉCLUSES ET CHEMINÉE À AIR LIBRE.

Une vue d'ensemble du pont.

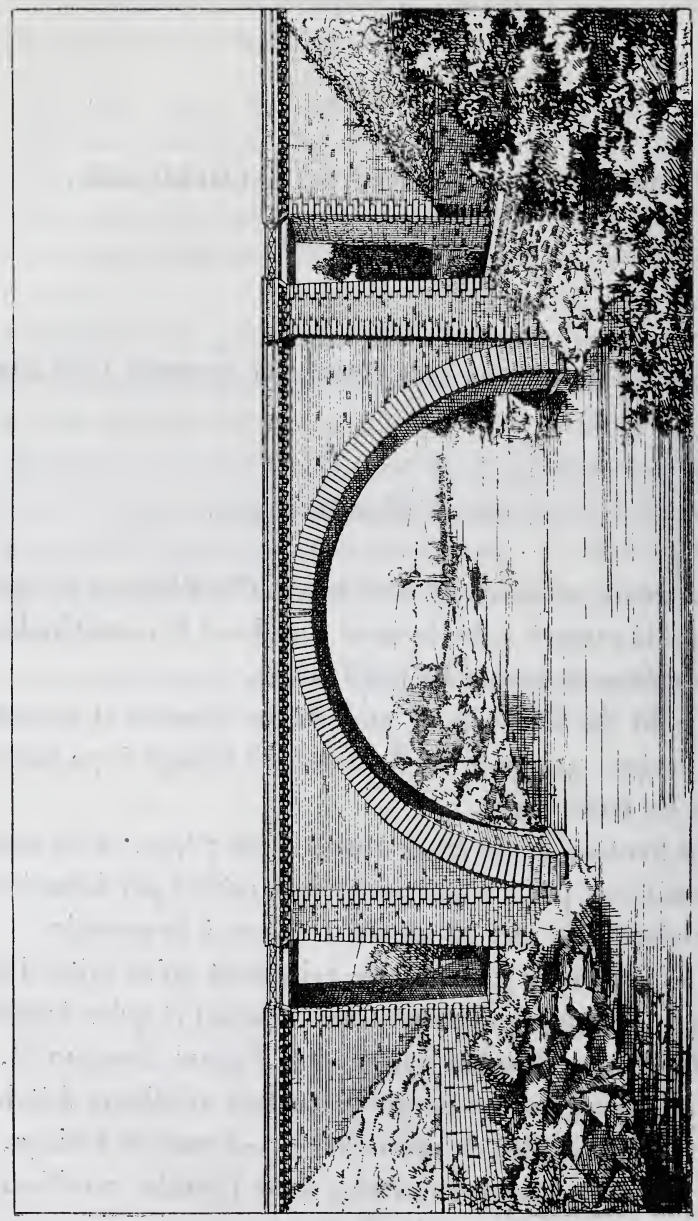
La route nationale n° 206 franchit le Rhône à l'origine du défilé compris entre le mont Vuache et le mont Credo, à 800 mètres en amont du fort l'Écluse.

Le lit du fleuve, à cet endroit, est resserré et présente une largeur qui varie de 30 mètres à l'étiage à 70 mètres dans les fortes crues.

La hauteur de ces crues atteint alors $7^{m},90$, et les eaux, prenant une pente superficielle de 2 mètres par kilomètre, s'écoulent avec une vitesse de 5 mètres à la seconde.

Ces conditions particulières exigeaient qu'on évitât d'apporter un obstacle quelconque au courant et qu'on franchît le fleuve sans chercher aucun point d'appui dans son lit.

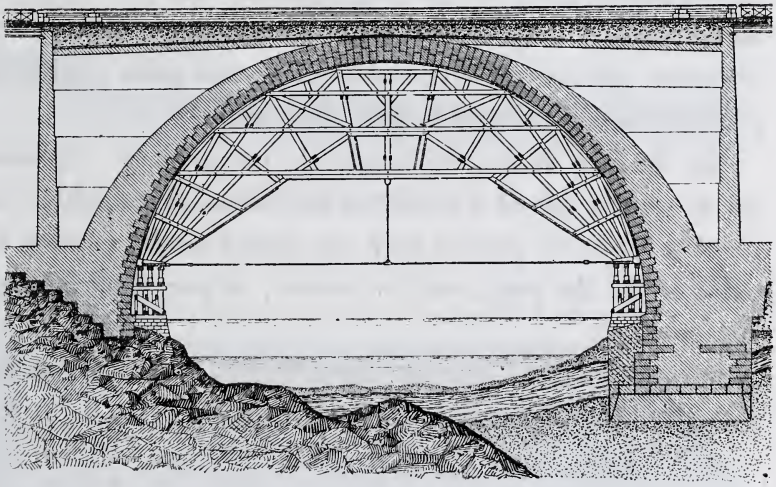
La disposition des berges permettait d'ailleurs d'établir la chaussée à plus de 26 mètres au-dessus de l'étiage, et les carrières voisines, ouvertes dans l'oolithe corallienne, offraient des matériaux de choix.



On a été ainsi conduit à construire en maçonnerie une seule arche en plein cintre de 40 mètres d'ouverture. Les besoins de la défense ont obligé d'y joindre deux travées métalliques, dont une décision ministérielle du 17 mai 1867 a ordonné l'exécution.

La culée droite de la grande arche repose sur un rocher compacte qui est à découvert et fait saillie sur la berge.

Sur la rive gauche, le fleuve est dominé par un talus à 45° dont la hauteur est de 28 mètres.



Les sondages pratiqués au pied de ce talus ont montré que le rocher était trop éloigné pour qu'on pût l'atteindre; on dut établir la fondation sur un terrain résistant et à l'abri des affouillements.

Au-dessous de l'étiage, on rencontrait successivement du gravier mêlé de sable, du sable pur, de gros galets cimentés par une terre argileuse, une couche de $0^m,90$ à 1 mètre composée de cailloux et de marne dure formant une sorte

de poudingue, puis une couche mince de glaise avec poches de sablon, enfin une masse profonde de gravier commençant à 4 ou 5 mètres en contre-bas de l'étiage.

Pour établir solidement la culée gauche de l'arche de 40 mètres, il fallait maçonner à 6 mètres au-dessous des plus basses eaux, soit à 14 mètres au-dessous des grandes crues, sur un lit de gravier pur. L'emploi d'un caisson métallique et de l'air comprimé a été jugé nécessaire et décidé le 29 juillet 1869.

Les raisons qui empêchaient de prendre un point d'appui dans le lit du fleuve exigeaient aussi l'adoption d'un cintre retroussé qui devait être solidement assis pour porter le poids de la voûte avant la pose de la clef.

Sur la rive droite, un massif de maçonnerie, reposant sur le rocher, offrait à ce cintre une base inébranlable. Le point d'appui de gauche était un massif fondé, comme la culée même du pont, sur le caisson, et par suite à l'abri des crues.

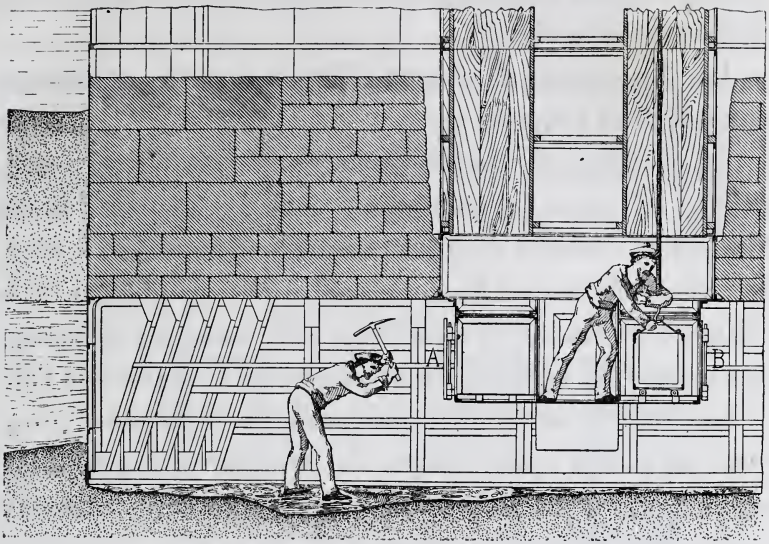
En tenant compte de cette circonstance, on a réglé comme il suit les dimensions du caisson métallique :

Longueur	$11^{m},50$
Largeur du côté des terres	10 ,00
Largeur du côté du Rhône	7 ,50

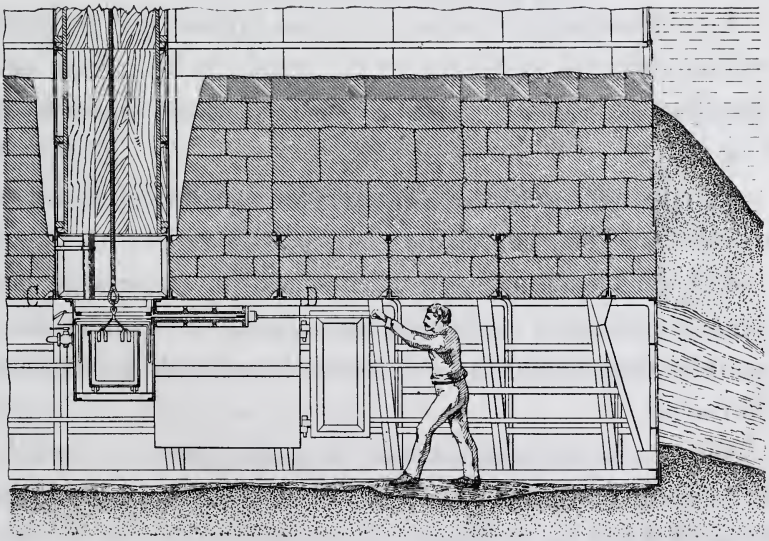
La largeur de 10 mètres commençait à diminuer à $6^{m},20$ de la paroi placée du côté des terres.

La hauteur sous plafond dans la chambre de travail était de 2 mètres.

La présente notice a principalement pour objet de faire connaître le mode de fondation de la culée gauche de l'ou-



Demi-coupe longitudinale.



Demi-coupe transversale.

vrage construit dans les conditions qui viennent d'être sommairement décrites.

Les dispositions du caisson diffèrent de celles qui avaient été jusque-là adoptées :

La chambre de travail seule renfermait de l'air comprimé, et toutes les manœuvres pour l'extraction des déblais ou la descente des matériaux étaient faites à l'air libre. Les sas à air étaient fixes, en contre-bas du plafond de la chambre de travail, et installés de telle sorte que le passage des bennes fût sans effet appréciable sur la tension de l'air.

La chambre de travail, construite en forte tôle de $0^m,009$, avait ses parois renforcées par des armatures; des consoles, supportant le plafond, le mettaient en état de résister à une surcharge de 1 500 tonnes.

Au-dessus, une simple chemise en tôle de $0^m,004$ séparait de l'eau la maçonnerie élevée à l'air libre.

Le plafond était traversé, vers son milieu, par un puits rectangulaire de $2^m,85$ sur $1^m,15$, subdivisé lui-même, par des cloisons transversales, en trois cheminées ouvertes à l'air libre.

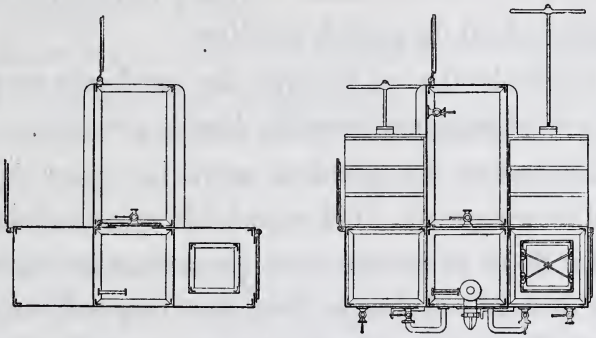
La cheminée centrale contenait les échelles et le tuyau d'amenée de l'air comprimé.

Les deux cheminées latérales servaient au passage des bennes montantes et descendantes, dont un homme dirigeait les mouvements à l'entrée et à la sortie de la chambre de travail.

Chaque benne, pour entrer ou sortir, traversait un coffret cubique formant sas de $0^m,85$ de côté, par le jeu d'un tiroir et d'une porte-clapet.

Au fond de la cheminée centrale, entre les deux coffrets

des bennes, était ménagé un palier où se tenait l'ouvrier chargé de décrocher et d'accrocher; le même ouvrier commandait la manœuvre des robinets. De ce palier on pouvait descendre, par une porte verticale de $0^m,50$ de largeur sur $0^m,90$ de hauteur, dans une petite chambre formant écluse pour le passage des hommes et ouvrant, par une se-



Coupes horizontales de la chambre de travail
suivant CD. suivant AB.

conde porte verticale de $0^m,50$ sur $1^m,40$, dans la chambre de travail.

Le plancher de cette écluse était seulement à $0^m,40$ au-dessus du niveau des fouilles.

Les parois du puits, n'ayant à supporter aucune pression, étaient formées de feuilles de tôle de $0^m,005$ à $0^m,007$, et simplement préservées contre le choc des bennes par un coffrage en planches de sapin.

Tout le système des sas et des cheminées pouvait d'ailleurs être enlevé dès que l'air comprimé n'aurait plus à refouler les eaux, c'est-à-dire au moment où le fonçage serait achevé et la chambre maçonnée intérieurement.

Les dispositions qui viennent d'être décrites présentaient les avantages suivants :

1° Le nombre des ouvriers placés dans l'air comprimé était réduit au minimum.

2° Les hommes, dans la chambre de travail, éprouvaient un sentiment de grande sécurité, parce que l'issue était rapprochée et la communication toujours facile avec l'ouvrier occupant le fond du puits à air libre.

3° L'introduction ou la sortie des matériaux ne produisait pas de changement sensible dans la pression.

4° La surface des parois à surveiller, pour éviter les fuites d'air comprimé, était aussi faible que possible.

5° La fixité de l'écluse à air permettait de réaliser une grande économie de temps. Sans interrompre le travail, on allongeait la cheminée au fur et à mesure de l'enfoncement du caisson, de façon à tenir toujours le sommet au-dessus du niveau des crues.

6° La dépense était notablement réduite par la substitution de tôles minces, pour la cheminée rectangulaire, aux tôles qui auraient eu à résister à la pression de l'air comprimé; enfin, on consommait peu d'air dans le passage des matériaux et des outils.

Le système indiqué dans cette note a donné des résultats satisfaisants; le caisson a été descendu, sans accident, à 6 mètres en contre-bas de l'étiage du Rhône, soit à 8 ou 9 mètres au-dessous des eaux moyennes et à 12 ou 14 mètres au-dessous des grandes crues.

La descente du caisson, le déblai, le fonçage, les travaux de maçonnerie dans la chambre de travail et au-

dessus du plafond jusqu'à l'étiage, ont duré deux mois et ont été terminés le 4 juillet 1870.

Le chantier se composait de soixante-trois hommes; trente-deux d'entre eux, employés dans la chambre de travail, étaient divisés en deux escouades se relayant de six en six heures.

Le mètre cube de déblai, dans la chambre de travail, a coûté en moyenne $23^{f},50$.

La main-d'œuvre pour la maçonnerie de remplissage est revenue à 16 francs par mètre cube.

La fondation complète de la culée gauche du pont de Collonges, jusqu'au niveau de l'étiage, a été exécutée pour la somme totale de 80 000 francs[1].

Les fondations ont été exécutées, sous la direction de M. Collet-Meygret, ingénieur en chef, par M. Sadi-Carnot, ingénieur ordinaire, qui a fait l'étude du système et qui en a suivi l'application.

La construction du pont proprement dit a été successivement confiée à MM. les ingénieurs ordinaires Carnot et Courtois, sous la direction de M. Collet-Meygret, ingénieur en chef.

Le chantier était surveillé par M. Bijon, conducteur, assisté de MM. Millet et Mistral, employés secondaires.

M. Masson, soumissionnaire des travaux, a concouru aux études faites par M. Carnot, et a mis en œuvre le mode nouveau de fondation.

M. Girard lui a succédé dans l'entreprise pour la construction de la partie de l'ouvrage au-dessus de l'étiage.

[1] Le système de fondation a été décrit d'une manière plus complète dans les *Annales des travaux publics* (n° 3, 10 mars 1880).

IV

PONT DE PORT-BOULET,

SUR LA LOIRE.

(DÉPARTEMENT D'INDRE-ET-LOIRE.)

ROUTE DÉPARTEMENTALE N° 11.

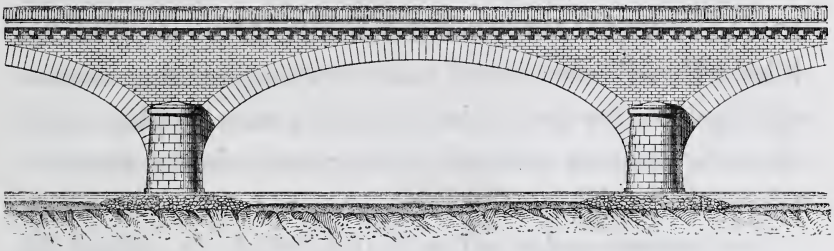
Exposé. — Depuis 1837, il existait sur la Loire, à Port-Boulet, un pont suspendu donnant passage à la route départementale n° 11, de Chinon à Château-du-Loir.

Ce pont éprouva, lors de la dernière guerre, de notables dommages, et fut détruit complètement quelques mois après, pendant une épreuve à laquelle on avait jugé utile de le soumettre.

Un projet de reconstruction en pierre fut dressé en 1872 par les ingénieurs du département, mais l'exécution dut être ajournée, parce qu'à ce moment surgit la question d'ouvrir un chemin de fer d'intérêt local entre Port-de-Piles et Port-Boulet : on songea dès lors à un ouvrage mixte servant à la fois à la route départementale n° 11 et au chemin de fer.

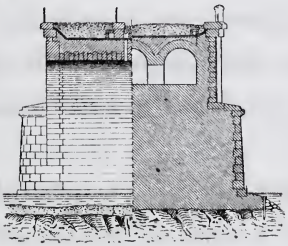
Diverses combinaisons furent successivement étudiées, et le conseil général du département, dans les sessions d'août et d'octobre 1873, adopta un projet pour chemin de fer et pour voie charretière, montant à 1 450 000 francs. Il vota une somme de 920 000 francs et demanda les 530 000 francs complémentaires à l'État.

Cette combinaison, soumise à l'Administration supérieure, fut approuvée par décision ministérielle du 28 février 1874; et les travaux furent adjugés le 2 mai de la même année et terminés à la fin d'octobre 1876.

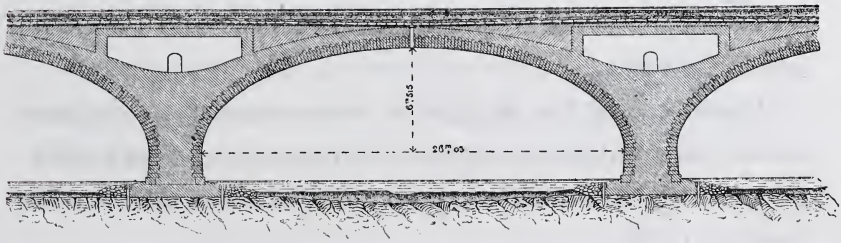


Élévation d'une arche.

Demi-coupe transversale d'une arche.



Demi-coupe tranversale d'une pile.



Coupe longitudinale.

Dimensions principales. — Le pont comprend seize arches en maçonnerie de 26 mètres d'ouverture chacune,

en forme d'ellipse surbaissée au quart. La longueur totale est de $492^{m},80$.

La largeur entre les têtes est de $10^{m},40$; mais la disposition des parapets en encorbellement porte l'espace libre à $10^{m},66$, savoir : $6^{m},20$ destinés à la route départementale n° 11, et $4^{m},40$ à la voie du chemin de fer de Port-de-Piles à Port-Boulet; $0^{m},06$ sont réservés pour une clôture qui séparera les deux voies et dont la mise en place a été ajournée jusqu'au moment où le chemin de fer sera terminé.

Les naissances des voûtes sont à $1^{m},75$ de l'étiage; la flèche étant de $6^{m},50$, la hauteur de l'intrados à la clef au-dessus de l'étiage se trouve être de $8^{m},25$: cette cote est de 2 mètres supérieure au niveau de la crue de 1856. Les rails et la voie charretière sont à $2^{m},35$ au-dessus de l'intrados à la clef, c'est-à-dire à $10^{m},60$ de l'étiage.

Dates principales de l'exécution. — Les travaux ont été adjugés le 2 mai 1874. La culée rive gauche et neuf piles ont été fondées dans la première campagne; les six autres piles et la culée rive droite l'ont été d'avril à septembre 1875.

Pendant que les fondations s'achevaient vers la rive droite, on montait les cintres et l'on commençait les voûtes. Les seize arches ont été complètement achevées dans le courant de 1875.

En 1876, on a fait les tympans, les voûtes de décharge, la chape; on a terminé le couronnement des piles, posé les modillons, les plinthes, les parapets; le pont a pu être livré au public le 28 octobre 1876, moins de trente mois après

l'adjudication, et cela malgré un retard de trois mois causé par les travaux de la route aux abords.

Fondations. — La culée rive gauche et la pile voisine ont été construites à sec sur le rocher calcaire que l'on rencontre dans le lit de la Loire, à des profondeurs variables.

Les autres piles et la culée rive droite reposent sur ce même rocher mis à nu par des dragages faits dans des enceintes de pieux et palplanches. Pour les cinq piles suivantes, le rocher s'est trouvé entre 1 et 2 mètres au-dessous de l'étiage; au delà de la pile 6, le rocher s'enfonce brusquement, et, de la pile 7 à la culée rive droite, on ne l'a rencontré qu'à des profondeurs variant de $5^{m},50$ à $7^{m},75$.

Le massif des fondations à l'intérieur des enceintes est formé de béton; ce béton, posé à sec pour la culée rive gauche et la première pile, a été immergé pour toutes les autres piles et pour la culée rive droite; il est arasé à $0^{m},20$ au-dessous de l'étiage.

Les enceintes sont maintenues à l'extérieur par des enrochements qui ont été conduits de façon à suivre le niveau du béton immergé à l'intérieur.

Les premières assises des piles au-dessus du béton immergé ont été maçonnées à l'abri de petits batardeaux en béton établis sur le massif et appuyés contre les pieux d'enceinte.

Nature des matériaux. — Le mortier a été composé de cinq parties de chaux en poudre et neuf parties de sable. La chaux provenait des bancs calcaires de Paviers (fours Genève et Cie).

Le béton immergé contenait deux parties de mortier et trois parties de galets cassés.

Les avant et arrière-becs, le socle, les cordons et couronnements des piles, les bandeaux des arches, ont été faits en granit d'Alençon. Ces diverses parties de la construction étaient projetées en pierre de Pontlevoy et de Champigny; l'entrepreneur a demandé, sans changement de prix, la substitution du granit, et cette modification a été admise.

Les modillons, la plinthe, les chaînes d'angle des culées et les parapets qui les surmontent sont en pierre de taille de Valenay (Cher) et de Chauvigny (près Poitiers).

Les parements des piles et des voûtes sont en moellons rustiqués de Pontlevoy; les parements des tympans, en moellons rustiqués de Bourgneuf (près Chinon); et le surplus de la maçonnerie, en moellons du pays.

Les parapets au-dessus des arches sont formés de montants en fonte reliés par une lisse en fer.

Dépenses. — Le détail estimatif du projet s'élevait à 1 450 000 francs.

Par suite du rabais de l'entreprise, ce chiffre s'est réduit à 1 437 514^{f},95.

Les dépenses ont été conformes aux prévisions et se décomposent comme il suit :

Travaux à l'entreprise.....	1 333 221^{f},09
Somme à valoir.....	104 293 ,86
Total pareil à celui du projet..	1 437 514 ,95

La longueur du pont étant de 492^{m},80, le prix de re-

vient du mètre linéaire ressort à 2 736 francs; la largeur du pont entre les têtes étant de $10^m,40$, le prix moyen du mètre superficiel de la superstructure est de 263 francs.

Mais le prix du mètre linéaire ne se répartit pas uniformément sur toute la largeur de la superstructure; chaque tête, sur 1 mètre de profondeur, coûte sensiblement le double d'un mètre de la zone centrale; et, pour avoir le prix moyen du mètre superficiel de la partie centrale, défalcation faite des deux mètres extrêmes, il faut diviser 2 736 non par $10^m,40$, mais par $12^m,66$; le quotient est 216 francs.

L'excédent de largeur donné au pont pour permettre la pose de la voie ferrée est de 4 mètres; la dépense correspondante par mètre courant est donc de $4 \times 216 = 864$, ce qui, pour la longueur totale de l'ouvrage, représente en chiffres ronds 425 000 francs.

Telle est donc, sur la dépense totale, la part afférente à la voie ferrée.

Le projet a été rédigé par M. Schérer, alors ingénieur en chef du département d'Indre-et-Loire, et par M. de Basire, ingénieur ordinaire.

Les ingénieurs qui ont été chargés de l'exécution sont M. Viollet-Dubreil, ingénieur en chef du département, qui a succédé à M. Schérer avant la mise en adjudication, et M. de Basire, ingénieur ordinaire.

Les travaux ont été surveillés par M. Gaillot, conducteur des Ponts et Chaussées.

L'entrepreneur était M. Genève.

DEUXIÈME SECTION.

SERVICE HYDRAULIQUE.

V

BARRAGE DU PAS-DE-RIOT,

SUR LE FURENS

(DÉPARTEMENT DE LA LOIRE),

POUR L'ALIMENTATION EN EAU DE LA VILLE DE SAINT-ÉTIENNE.

Une vue d'ensemble du barrage.

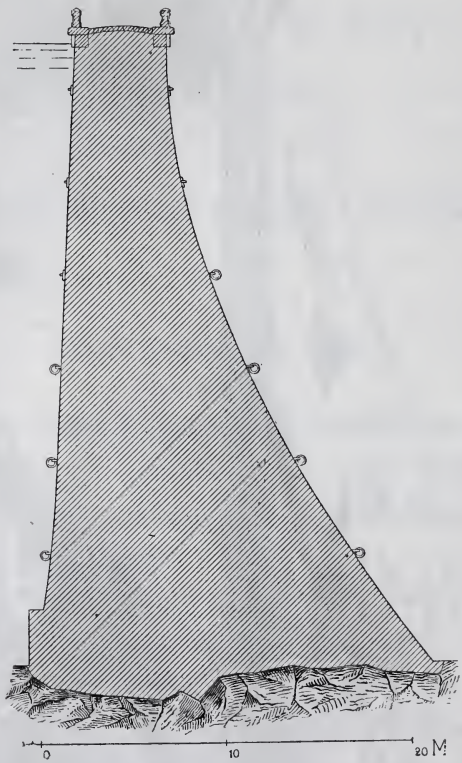
La ville de Saint-Étienne prenait autrefois toutes ses eaux aux sources qui coulent dans la partie supérieure de la vallée du Furens, ou bien, en cas d'insuffisance, au réservoir du Gouffre-d'Enfer.

Le Gouffre-d'Enfer emmagasinait les eaux du Furens. Lorsque la rivière débitait moins de 300 litres à la seconde, elle était entièrement absorbée par les usines, et la ville n'y pouvait faire aucun emprunt; lorsque le débit dépassait 300 litres, la ville retenait l'excédent.

L'eau disponible était loin de répondre aux besoins d'une ville qui comprend plus de 125 000 habitants. La situation

a été améliorée par la création d'un nouveau réservoir au Pas-de-Riot et par l'acquisition des eaux de la rivière même du Furens, sauf un volume de 25 litres par seconde réservé pour les besoins des riverains.

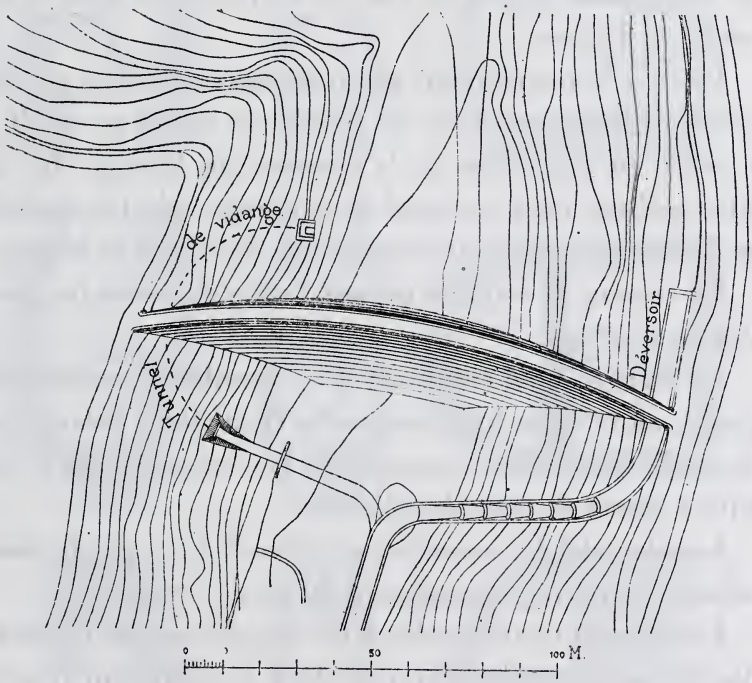
L'acquisition des eaux de la rivière du Furens a coûté à la ville de Saint-Étienne 2 200 000 francs. Elle a été faite sur la proposition de M. Lefort, ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées.



Le réservoir du Pas-de-Riot a été établi à 2 200 mètres en amont du réservoir du Gouffre-d'Enfer.

Le barrage du Pas-de-Riot présente une capacité utile de 1 350 000^{mc}. Sa hauteur, comptée entre le dessus de la chaussée et le fond naturel de la vallée à son pied, est de 34^{m},50. Son épaisseur est de 4^{m},90 au sommet et de 21^{m},86 au niveau du sol de la vallée.

La chaussée du barrage offre un développement de 155 mètres. Elle forme en plan un arc de cercle dont le rayon moyen est de 350 mètres.



Les eaux du réservoir sont évacuées en temps ordinaire par un tunnel de vidange de 81^{m},10 de longueur entre les têtes, creusé dans le rocher contre lequel s'appuie le bar-

rage sur la rive droite du Furens. L'extrémité du tunnel, du côté du réservoir, a été fermée par un massif de 20 mètres d'épaisseur. On a logé dans ce massif deux tuyaux de $0^{m},40$ de diamètre, munis chacun d'un robinet-vanne ordinaire et d'un robinet de sûreté. Les tuyaux peuvent se suppléer mutuellement. Ils se déversent, par l'intermédiaire d'un puisard destiné à amortir le choc des eaux, dans des rigoles maçonnées qui aboutissent à un répartiteur permettant d'envoyer les eaux soit dans les biefs de deux usines situées en aval du barrage, soit dans le lit même du Furens.

Lorsque le réservoir est plein, les eaux s'écoulent par un déversoir de superficie de 30 mètres de longueur, établi à 1 mètre en contre-bas de la chaussée du barrage. De là elles tombent dans un canal de décharge, qui les conduit au Furens par sept chutes successives de $3^{m},50$ de largeur.

Un chemin de ceinture permet l'accès de toutes les parties du réservoir.

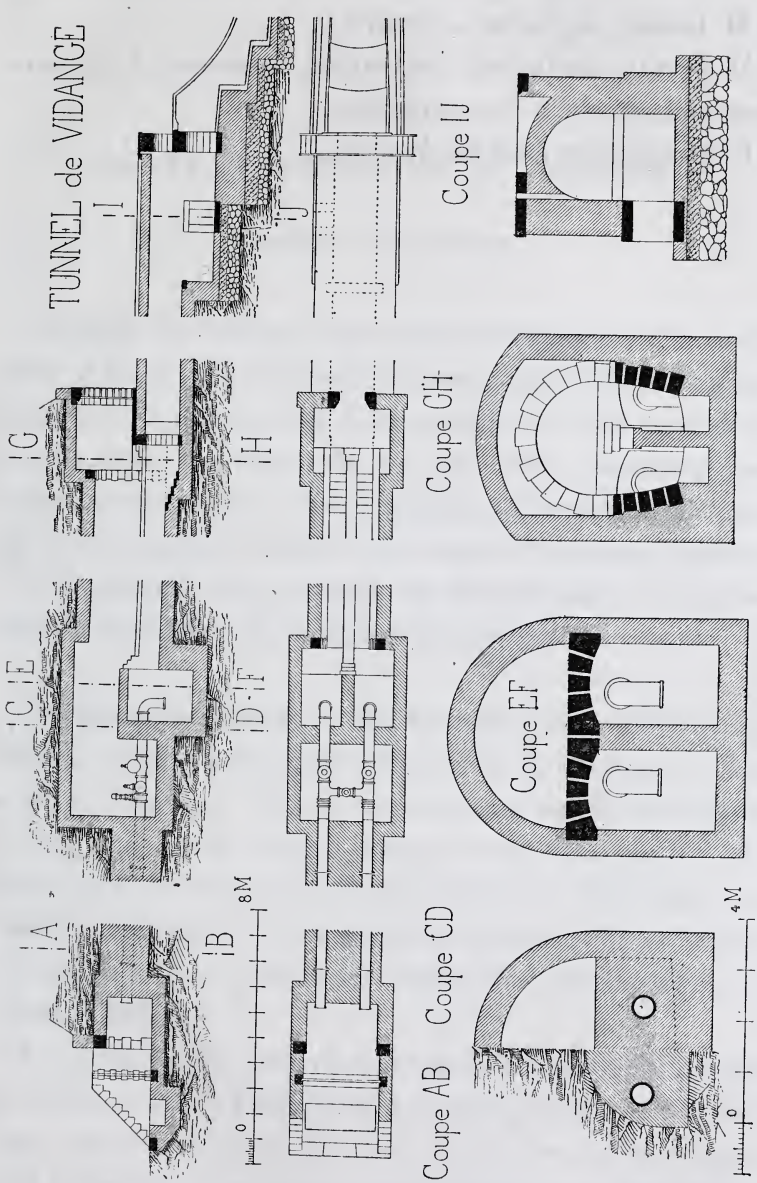
Le barrage a été construit avec d'excellents moellons de granit, de la chaux hydraulique du Theil (fours Lafarge) et du sable de carrières granitiques. Le couronnement a été fait en pierre de taille de Villebois.

Le cube total des maçonneries s'élève à $42\,100^{mc}$. Le cube afférent au barrage proprement dit est de $37\,600^{mc}$.

La dépense totale résultant des acquisitions de terrains, des indemnités et des travaux s'élève à 1 280 000 francs.

Le prix de la réserve par mètre cube est donc de $0^{f},95$.

La construction a été dirigée, de 1873 à 1875, par M. Lagrange, ingénieur en chef, et de 1875 à 1878, par M. Jollois, son successeur.


TUNNEL de VIDANGE
I
J
Coupe IJ
G
H
Coupe GH
C E
D F
Coupe EF
A
B
8M
0
Coupe AB
Coupe CD
4M
0

Les travaux ont été exécutés sous les ordres immédiats de M. Lefort, ingénieur ordinaire.

M. Duplay, conducteur des Ponts et Chaussées, a été constamment attaché à la surveillance.

L'entrepreneur était M. Abougit.

VI

CANAL D'IRRIGATION DU VERDON.

(COMPAGNIE CONCESSIONNAIRE.)

Le canal du Verdon a pour objet l'irrigation de la commune d'Aix et des communes environnantes, la mise en jeu d'usines et la distribution d'eau potable. Il a été concédé à la ville d'Aix par décret du 20 mai 1863, commencé par la compagnie anglaise *French irrigation Company* et terminé par la Compagnie générale de canaux et travaux publics.

Il comprend trois divisions, la branche mère, les branches de dérivation et les rigoles de distribution.

1° **Branche mère.** — La branche mère, dérivée du Verdon, un des principaux affluents de la Durance, a son origine à Quinson, dans le département des Basses-Alpes. Sa longueur est de 82075 mètres et son débit de 6^{mc}. Sa pente varie de $0^{m},00019$ à $0^{m},00030$ par mètre dans les parties à ciel ouvert, où sa section moyenne est de $10^{mq},50$; elle est de $0^{m},0011$ dans les souterrains, où la section se réduit à $4^{mq},78$.

La partie la plus remarquable est la traversée des gorges du Verdon, sur 8 kilomètres. Le canal, tantôt en souterrain, tantôt soutenu par des murs contre des rochers à pic, n'est accessible qu'au moyen d'un sentier creusé dans le rocher ou formé de planches soutenues par des consoles en

fer. Les souterrains, au nombre de soixante et un, y atteignent ensemble une longueur de 3085 mètres, et des murs bajoyers ont été construits sur 4920 mètres; dans les rares parties où la cuvette est simplement en déblai, des revêtements en maçonnerie hydraulique ont été partout nécessaires.

En dehors des gorges, le canal du Verdon a exigé 20 souterrains ayant ensemble une longueur de 16236 mètres, 3 ponts-aqueducs, 4 grands siphons, 66 aqueducs, 13 ponts par-dessous, 95 passages par-dessus, et 6182 mètres de murs de berges.

2° **Branches de dérivation.** — Les branches de dérivation sont au nombre de huit. Les principaux ouvrages dont elles ont nécessité l'exécution sont le pont-aqueduc de Calèche, d'une longueur de 1116 mètres, sur la branche de la rive gauche de la Touloubre, et le siphon de l'Arc, de 940 mètres de développement, sur la branche des Milles. Le nombre des ouvrages d'art d'importance moindre dépasse huit cents.

3° **Rigoles de distribution des eaux.** — La compagnie concessionnaire est chargée de l'exécution des rigoles de distribution des eaux dans la commune d'Aix. La longueur de rigoles exécutée à la date de ce jour est de 300 kilomètres; le nombre des ouvrages d'art (ponts, siphons, chutes, etc.) est de deux mille neuf cents environ.

Périmètre arrosable. — La surface que peut arroser le canal du Verdon est de 9155 hectares dans la

commune d'Aix, et de 8 790 hectares dans les communes environnantes. Les terrains arrosables sont en pente assez forte et presque entièrement privés d'eau. La surface irriguée pendant la première année d'exploitation a été de 392 hectares; les principales cultures ont été les prairies, la luzerne, les pommes de terre, les haricots et les plantes maraîchères.

Forces motrices. — Le profil en long des branches de dérivation est coupé par un grand nombre de chutes destinées à produire des forces motrices. La force totale de ces chutes est de 1 425 chevaux de 100 kilogrammètres, soit 1 900 chevaux-vapeur, sur lesquels 660 sont utilisables à Aix même. Ces forces motrices présenteront pour l'industrie des avantages considérables, par suite de la régularité du débit des canaux et de l'économie qu'elles procureront sur l'emploi de la vapeur; leur groupement autour d'un grand centre de population les place dans une situation extrêmement avantageuse.

Dépenses de construction. — Les dépenses faites pour établir le canal du Verdon s'élèvent à 14 787 783 fr., non compris les intérêts du capital engagé; il reste encore à dépenser environ 700 000 francs pour cinq branches de dérivation en dehors de la commune d'Aix.

Description des principaux ouvrages d'art. — Barrage de prise d'eau. — La prise d'eau est établie sur le Verdon, rivière torrentielle qui a sa source dans les Basses-Alpes, près de Castellane, et se jette dans la

Durance, à 10 kilomètres environ en amont du défilé de Mirabeau.

On a choisi pour l'emplacement du barrage une gorge dont la largeur est de 36 mètres seulement.

La section des maçonneries est un trapèze curviligne; la hauteur au-dessus du plan des fondations est de $11^{m},33$; la largeur, de $9^{m},91$ à la base et de $4^{m},32$ au sommet.

En plan, le barrage est établi suivant un arc de cercle de 36 mètres de corde et de $5^{m},80$ de flèche, encastré à ses extrémités, sur $1^{m},50$ à 2 mètres de profondeur dans le rocher.

La hauteur totale de l'ouvrage au-dessus du rocher sur lequel il est assis dépasse 18 mètres.

La prise d'eau a été pratiquée dans le massif de rocher situé à gauche du barrage. Elle se compose de quatre ouvertures en plein cintre, fermées par des vannes et débouchant dans un souterrain de 70 mètres environ de longueur.

Le milieu de la façade de la prise est occupé par un avant-corps dont le vide intérieur se prolonge à travers la roche jusqu'au plafond de la rivière, à l'entrée d'une galerie souterraine latérale au Verdon, et qui permet d'évacuer une partie de ses eaux. La largeur de cette galerie a été divisée, à l'aplomb du canal, en trois ouvertures munies chacune d'une paire de vannes.

Le barrage de prise d'eau, commencé dans le courant de 1866, a été achevé dans les trois premiers mois de 1869, après trois campagnes laborieuses.

Principaux souterrains. — Les principaux souterrains du canal du Verdon sont ceux des Maurras, de Gi-

nasservis, de Pierrefiche, de Rians et de Saint-Hippolyte. Le souterrain des Maurras s'étend sur 4 136 mètres; il a nécessité le creusement de sept puits, dont quatre ont plus de 100 mètres et un plus de 200 mètres de profondeur. Le souterrain de Ginasservis est long de 5 080 mètres; les douze puits qui ont servi à son ouverture représentent ensemble une profondeur totale de 717 mètres. Le souterrain de Pierrefiche se développe sur 3 029 mètres; les souterrains de Rians et de Saint-Hippolyte ont, le premier 891 mètres, et le second 950 mètres.

Ponts-aqueducs. — *Pont-aqueduc de Beaurivet.* — Le pont-aqueduc de Beaurivet présente une longueur de $88^{m},67$ et une hauteur de 14 mètres, mesurée entre le couronnement des murs bajoyers et le fond de la vallée. Il est formé de dix arches en plein cintre de 6 mètres d'ouverture. La largeur de la cuvette, sur le pont-aqueduc, est de $2^{m},61$; la largeur de l'ouvrage entre les têtes, de $4^{m},21$.

Pont-aqueduc de Malourie. — Le pont-aqueduc de Malourie offre une longueur de $31^{m},90$ et une hauteur de 16 mètres au-dessus du fond du ravin qu'il traverse. Il se compose de trois arches en plein cintre de 8 mètres d'ouverture. La largeur de la cuvette, sur le pont-aqueduc, est de $2^{m},60$; la largeur de l'ouvrage entre les têtes, de $4^{m},16$.

Pont-aqueduc de Parouvier. — Le pont-aqueduc de Parouvier a une longueur de $121^{m},30$ et une hauteur de $20^{m},75$, depuis le fond de la vallée jusqu'à la partie supérieure du couronnement des murs bajoyers. Il comprend douze arches en plein cintre de 8 mètres d'ouverture. La

largeur de l'ouvrage est de $4^m,04$ entre les têtes, et celle de la cuvette de $2^m,50$.

Siphons. — *Siphon de Trempasse.* — Le siphon de Trempasse franchit une vallée de 132 mètres de largeur au niveau du plafond du canal, et de 27 mètres de profondeur au-dessous de ce niveau. Il est formé d'une galerie souterraine creusée dans le rocher et passant à 12 mètres sous le thalweg. Le rocher est revêtu d'une chemise en maçonnerie qui en assure l'étanchéité; sa plus faible épaisseur, au-dessus du souterrain, est de 7 mètres.

La galerie présente une section circulaire de $2^m,30$ de diamètre; elle aboutit, à ses extrémités, dans deux puits verticaux en maçonnerie. L'épaisseur du revêtement est de $0^m,30$ à $0^m,40$.

Pour assurer la vidange, on a conservé, dans le fond de la vallée, un puits vertical de 14 mètres de profondeur qui a servi à la construction et qui communiquait avec le siphon par une galerie perpendiculaire. Pour isoler ce puits du siphon, on a construit, dans la galerie qui les faisait communiquer, un barrage en pierre de taille traversé par un tuyau en fonte, lequel aboutit à une pompe placée au fond du puits et manœuvrée au moyen d'un treuil.

Les dépenses d'exécution se sont élevées à 60 000 francs, soit 454 francs par mètre courant, savoir :

Pour le percement des galeries et des puits....	29 000 f
Pour les maçonneries de revêtement, les têtes du siphon et le barrage.....	26 000
Pour les travaux accessoires et les appareils de vidange.....	5 000

Siphon de la Lauvière. — Le siphon de la Lauvière traverse une vallée formée, sur les flancs, de poudingue très compacte alternant avec des grès durs, et, dans le fond, d'une épaisse couche d'argile. La nature du sol a fait adopter un système mixte. Des galeries souterraines, analogues à celles qui constituent le siphon de Trempasse, ont été pratiquées dans le rocher dur, et la partie centrale a été formée d'un tuyau en tôle reposant sur des dés en pierre de taille.

La longueur de l'ouvrage entier, mesurée d'axe en axe des puits auxquels aboutissent les galeries souterraines, est de $272^{m},70$, et la flèche maxima de $23^{m},50$. Les galeries ont $2^{m},30$ de diamètre; leur déclivité varie de $0^{m},06$ à $0^{m},19$ par mètre. La longueur de la galerie amont est de $105^{m},30$, et celle de la galerie aval de $47^{m},50$.

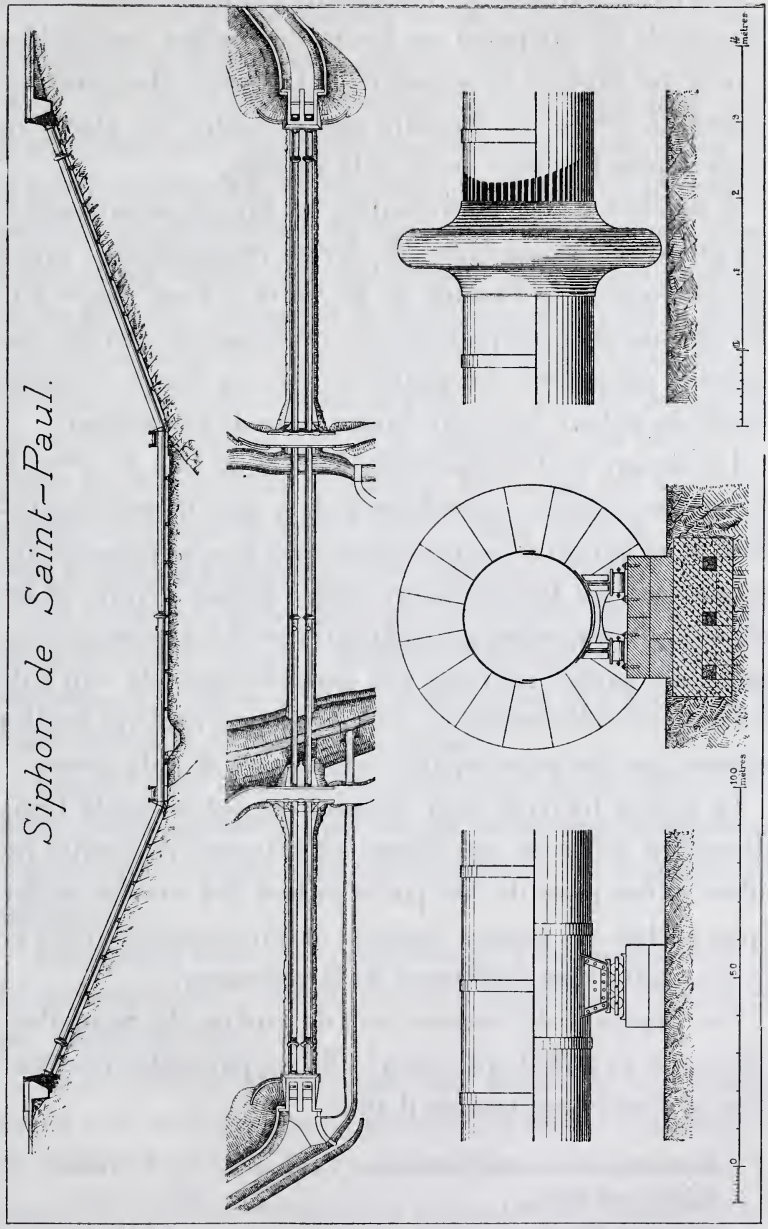
Le tuyau en tôle présente un développement de 120 mètres et un diamètre de $2^{m},30$; son épaisseur est de $0^{m},01$. Il est formé de feuilles réunies, dans le sens de la longueur et dans le sens de la largeur, par des rivures à clain à un seul rang de rivets. Les supports, par l'intermédiaire desquels il repose sur la pierre de taille, sont en fonte et au nombre de vingt-trois; ils peuvent se mouvoir sur des rouleaux creux, également en fonte. A chacune des extrémités est placé un appareil de dilatation en tôle emboutie, muni d'un demi-tore relié avec le tuyau par des faces planes et susceptible d'une sorte de mouvement de soufflet. Le grand diamètre du tore est de $3^{m},86$, et le diamètre du cercle générateur de $0^{m},54$. La vidange s'opère à l'aide d'un robinet-vanne de $0^{m},50$ de diamètre. Le raccordement

avec les galeries souterraines s'effectue au moyen d'anneaux en fonte encastrés dans la maçonnerie.

Les dépenses faites pour la construction du siphon de la Lauvière se sont élevées à 180 000 francs, soit 660 francs par mètre courant; elles se décomposent de la manière suivante :

Percement des puits et galeries.....	27 150^{f}
Maçonnerie de revêtement et des têtes.....	65 500
Partie métalliques.....	87 350

Siphon de Saint-Paul. — Le siphon de Saint-Paul a été construit pour la traversée d'une vallée de 293 mètres de largeur et de $36^{m},15$ de profondeur au-dessous du plafond du canal. Il est constitué par deux tuyaux en tôle de $1^{m},75$ de diamètre, établis parallèlement à une distance de 4 mètres d'axe en axe et dont la direction est perpendiculaire à la vallée. Chaque tuyau se compose d'une partie horizontale de $98^{m},06$ de longueur comprise entre deux parties inclinées de $76^{m},49$ et de $84^{m},01$ de longueur. Les pentes des parties inclinées sont de $0^{m},41$ par mètre à l'amont et de $0^{m},39$ par mètre à l'aval. A chaque angle est établi un support fixe formé d'une chaise en tôle s'appuyant sur un massif de pierre de taille; les autres supports reposent, au moyen de rouleaux de friction, sur des dés également en pierre de taille. La longueur des travées est de $10^{m},80$ à l'amont et de $10^{m},40$ à l'aval; pour la partie centrale, elle est de $12^{m},50$ au voisinage des angles et de $10^{m},45$ dans les parties intermédiaires; cette différence a été motivée par la présence de deux ruisseaux qu'il convenait de traverser chacun par une seule portée.


Siphon de Saint-Paul.
0
50
100 mètres
0
1
2
3
4 mètres

Les parties droites qui composent le siphon sont munies d'appareils de dilatation en forme de soufflet, semblables à ceux qui existent au siphon de la Lauvière. Des robinets-vannes de $0^m,30$ de diamètre ont en outre été placés au point le plus bas pour servir à la vidange.

A chacune de leurs extrémités, les tuyaux aboutissent à des puisards indépendants, de forme rectangulaire, ayant une profondeur à l'amont de $6^m,72$ et à l'aval de $6^m,61$. Des coulisseaux pratiqués dans les murs bajoyers en tête des puisards permettent de mettre à sec, au besoin, chaque moitié du siphon, sans que l'autre cesse de fonctionner.

Les tuyaux sont composés de feuilles de tôle de $0^m,008$ d'épaisseur minima, assemblées à clain dans le sens longitudinal et au moyen de couvre-joints dans le sens transversal; les assemblages longitudinaux sont à double rivure, et les assemblages transversaux à simple rivure. Les coudes qui réunissent les parties inclinées à la partie horizontale sont faits de feuilles de tôle emboutie, réunies entre elles et aux feuilles voisines par des couvre-joints extérieurs à double rivure.

Le siphon traverse deux chemins qui ont nécessité l'établissement de ponts par-dessus en maçonnerie. Contre les culées et les piles de ces ponts butent des oreilles en fer fixées au bas des tuyaux inclinés, et qui empêchent ceux-ci de descendre sous l'influence de la pesanteur.

Les dépenses de construction du siphon de Saint-Paul s'élèvent à $254\,385^f,95$, soit 937 francs par mètre courant; elles se répartissent comme il suit :

Terrassements et maçonneries.....	$63\,206^f,88$
Partie métallique.....	$181\,712,25$
Dépenses diverses.....	$2\,835,10$

Pont-aqueduc de Calèche. — Le pont-aqueduc de Calèche, établi sur la branche secondaire, dite « de la rive gauche de la Touloubre », se développe sur une longueur de 1 115^{m},65 et présente une hauteur maxima de 9^{m},16. Il comprend cent quarante-six arches en plein cintre de 6 mètres d'ouverture et une bâche en tôle de 20 mètres de portée pour la traversée de la route nationale n° 96. Neuf piles-culées munies de contre-forts divisent l'ouvrage en douze sections, composées de quatorze arches pour la partie du pont-aqueduc située en amont de la route nationale, et de treize arches pour la partie située en aval. La largeur de la cuvette est de 0^{m},66, et sa profondeur de 0^{m},90. La pente du terrain étant très douce, les culées ont une assez grande longueur et sont évidées; celle d'amont présente cinq arceaux d'évidement, celle d'aval en offre huit.

Le tracé, en plan, n'est pas rectiligne; on l'a dirigé suivant la ligne de crête du faîte à franchir, de manière à diminuer la hauteur des plus hautes piles et à traverser la route nationale sous un angle de 50°.

Le pont a été entièrement construit en maçonnerie ordinaire; les parements des piles et des voûtes sont en moellons disposés par assises; ceux des tympans sont à joints incertains.

La dépense totale, en y comprenant l'établissement de la bâche métallique, a été de 158 000 francs, soit 142 francs par mètre courant.

L'ensemble des travaux qui font l'objet de cette notice est dû à M. de Tournadre, ingénieur des Ponts et Chaussées; M. Bricka, ingénieur des Ponts et Chaussées, a terminé le canal du Verdon et construit l'aqueduc de Calèche, les

siphons de Saint-Paul et de l'Arc, ainsi que l'ensemble des rigoles de distribution.

Les agents qui ont particulièrement contribué aux études ou à l'exécution sont : MM. Berger, conducteur des Ponts et Chaussées; Lasvigne, ingénieur civil; Ernout, chef dessinateur; Wachowski, chef de section au canal du Verdon; et Guillaume, chef du service des dérivations. La partie métallique du siphon de Saint-Paul a été établie par MM. Lejeune et Ménard, entrepreneurs.

VII

RÉSERVOIR DU LAC D'ORÉDON

ET DISTRIBUTION DES EAUX DE LA NESTE.

(DÉPARTEMENT DES HAUTES-PYRÉNÉES.)

Une vue d'ensemble du barrage.

But de la distribution des eaux de la Neste. — La distribution des eaux de la Neste a pour objet l'amélioration agricole des nombreuses vallées qui s'étendent au pied des Pyrénées et prennent leur origine au plateau de Lannemezan. Dans cette région, qui embrasse tout le département du Gers et partie des départements des Hautes-Pyrénées, de la Haute-Garonne, de Tarn-et-Garonne et de Lot-et-Garonne, les rivières sont à sec pendant tout l'été; les moulins chôment, et les habitants manquent d'eau pour abreuver leurs bestiaux et pour les usages les plus ordinaires de la vie.

Canal de la Neste. — On a résolu le problème en portant une partie des eaux de la Neste sur le plateau de Lannemezan par un canal de 28 kilomètres, dont la prise d'eau est à Sarrancolin et dont le débit peut s'élever à 7^{mc} par seconde. Avec ce débit, on arrose en grande partie le pla-

teau des landes de Lannemezan, et l'on alimente les vallées et les rivières de la Louge, de la Save, de la Gesse, de la Gimone, de l'Arrats, du Gers, de la Baysolle, des trois branches de la Baïse et du Bouès.

L'emprunt de 7^{mc} par seconde ne pouvant être fait à la Neste pendant le bas étiage, sans compromettre des droits acquis, on a dû recourir à la création d'un réservoir au lac d'Orédon.

Situation du lac d'Orédon. — Le lac d'Orédon est situé près de la ligne de partage des bassins de la Neste et du gave de Pau; il est à très peu près sur l'axe du soulèvement des Pyrénées et en pleine région granitique. Il présente 24 hectares de superficie. Il reçoit le tribut des quatre lacs de Cap-de-Long, des Laquettes, d'Aubert et d'Aumar et des deux glaciers de Néouvieil et du Pic-Long. La superficie de son bassin d'alimentation est de 2 770 hectares. Son niveau d'étiage est à 1 852 mètres au-dessus de la mer. Les cimes qui l'environnent ont plus de 3 000 mètres d'altitude et sont couvertes de neige les trois quarts de l'année.

Les travaux destinés à transformer le lac d'Orédon en un réservoir comprennent :

1° Une tranchée ouverte dans le déversoir naturel et se prolongeant dans le lac à 7 mètres en contre-bas de son plan d'eau ;

2° Un barrage établi en travers du déversoir et qui permettra de surélever la retenue à $16^{m},80$.

La capacité du réservoir est de $7\,500\,000^{mc}$.

Tranchée. — La tranchée ouverte dans le déversoir

naturel du lac a 7 mètres de profondeur maxima et 480 mètres de longueur, dont 167 mètres dans le lac et 313 mètres dans le déversoir même. Elle est creusée dans le granit.

Pour faciliter les déblais de la tranchée, on a établi, à l'origine du déversoir, une chaussée en terre de $3^{m},50$ de hauteur au-dessus du niveau du lac. A l'extrémité rive droite et au point où cette chaussée touche au rocher, un pertuis de 3 mètres de largeur, fermé avec des poutrelles, permet de retenir et de lâcher à volonté les eaux du lac.

Après l'explosion des mines, et surtout le soir, on ouvrait le pertuis; un courant puissant, dont la vitesse dépassait 5 mètres par seconde, produisait une véritable chasse et balayait vers la cascade qui termine la tranchée la plus grande partie des blocs détachés par les mines.

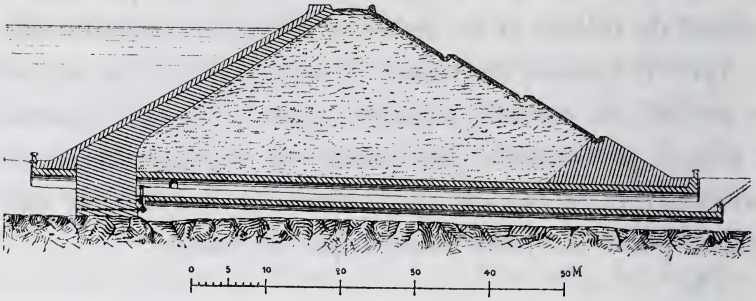
Appareil de prise d'eau. — L'appareil de prise d'eau se compose de onze conduites en fonte de $0^{m},30$ de diamètre terminées en aval par des robinets-vannes de même dimension, dont le type a été emprunté à la distribution des eaux de Paris. Du côté d'amont, chaque conduite se termine par un tuyau évasé dont le diamètre atteint $0^{m},60$.

Les conduites sont enchâssées au bas d'un massif en béton de ciment de Portland de 8 mètres d'épaisseur et de 7 mètres de hauteur. Elles sont disposées sur deux rangs, cinq au rang inférieur, et six au rang supérieur.

On arrive aux robinets par l'aval en suivant une galerie dite d'accès, superposée à l'aqueduc, voûtée comme lui et portant, sur toute sa longueur, le poids du barrage.

Barrage. — Le barrage consiste essentiellement en un remblai muni, sur son talus amont, d'un bétonnage qui sera garanti de la gelée par un perré à pierres sèches de 1 mètre d'épaisseur.

Construction du remblai. — On a commencé par préparer l'assiette du remblai en enlevant les arbres, les broussailles et toute la terre végétale; on a fouillé sous les



grands blocs qu'on n'a pu remuer, pour mettre partout à nu le roc vif, puis on a entrepris l'opération importante du remblai.

Un chemin de fer a relié la Prade de Camou, lieu d'emprunt des remblais, avec le sommet du barrage. Ce chemin se compose de deux voies qui forment un circuit fermé; l'une supérieure, ou voie d'arrivée, descend par une pente de $0^m,010$ à $0^m,011$ du champ d'attaque des déblais vers le point culminant du barrage. La voie de retour part de ce dernier point et se dirige par une pente inverse vers la Prade de Camou, où elle arrive à 7 mètres en contre-bas du point de départ de la voie supérieure. Cette différence de niveau est rachetée par un plan incliné sur lequel une

chaîne sans fin, mise en mouvement par une roue hydraulique, remonte les wagons employés au transport des matériaux. Les pentes des voies ferrées sont ménagées de manière qu'un wagon mis en marche continue à descendre avec une vitesse modérée, soit du chantier des déblais vers le barrage, soit du barrage vers le pied du plan incliné. Chaque wagon est muni d'un frein dont le conducteur se sert au besoin pour en régler la marche.

Traitement des remblais par l'eau. — L'agent principal employé dans l'assiette du remblai a été l'eau, et voici par quel procédé :

On a établi, dans le fossé qui longe à gauche la voie ferrée supérieure, un courant d'eau d'environ 15 litres par seconde; cette eau provenait du canal qui met en jeu la roue hydraulique employée au remontage des wagons vides sur le plan incliné.

Arrivée au barrage, l'eau pouvait à volonté, par la manœuvre d'une vanne, être jetée dans une conduite en bois de $0^{m},16$ à $0^{m},22$ placée à $0^{m},80$ au-dessous des rails sur lesquels arrivaient les wagons chargés. La conduite, que l'on prolongeait à mesure de l'avancement du remblai, débouchait au point où chaque wagon, en basculant, laissait tomber son chargement.

On déchargeait deux et quelquefois trois wagons : la buse se trouvait ainsi recouverte de $3^{mc},500$ à 5^{mc} de terre ; on lançait l'eau dans la conduite; celle-ci, établie avec une pente d'environ $0^{m},005$ par mètre et ayant son extrémité aval bouchée par le remblai, se chargeait rapidement. La masse de terre, pénétrée par l'eau, passait à l'état de lave plus ou

moins pâteuse, puis l'eau, se faisant jour au travers, précipitait, avec un fracas assourdissant, la terre, le sable, les pierrailles et les blocs vers la base du remblai.

Un atelier de quatre ou cinq hommes, munis de crochets en fer, détournait au besoin les grosses pierres et dirigeait le courant successivement à droite, à gauche ou en face, de manière à mener de front le talus amont et le talus aval.

L'eau courant au pied du remblai, après avoir laissé en route les parties solides qu'elle avait entraînées, s'écoulait à droite ou à gauche dans la tranchée, n'emportant en suspension que de l'humus léger et du sable fin à l'état de vase.

Au bout de quelques minutes, les matériaux déposés par l'eau, et en quelque sorte sous l'eau, avaient perdu le liquide qui leur avait servi de véhicule. Le sable s'était logé dans les moindres interstices laissés par les fragments de plus fortes dimensions. Aucun vide n'apparaissait et la masse entière était tellement résistante qu'aucun tassement ne semblait plus possible.

Revêtement en béton. — Le revêtement en béton a pour but d'empêcher l'infiltration de l'eau à travers le remblai et d'assurer par là sa résistance ; mais ce revêtement, si compacte qu'il soit, si hydraulique que soit l'excellente chaux du Theil qui entre dans sa composition, est lui-même perméable comme toute maçonnerie. Des fissures provenant soit du retrait du mortier, soit des tassements du remblai ou du béton, peuvent se déclarer et livrer passage à l'eau. On a essayé d'en neutraliser l'effet à l'aide d'une chape bitumineuse.

Mais ce n'est pas encore suffisant : la chape peut se gercer et l'action destructive de l'eau, sous l'énorme pression que supportera le talus d'amont du barrage, reste encore à craindre.

Système de drainage. — On a cherché à écarter ce danger en interposant, comme il suit, un drainage général entre le remblai et le revêtement.

Le perré qui forme le talus amont est recouvert d'une couche de béton de $0^m,20$. Sur cette couche est établi un perré à pierres sèches de $0^m,30$ d'épaisseur uniforme qui constitue le drain. C'est sur ce dernier perré qu'est appliqué le revêtement en béton avec sa chape bitumineuse.

Au pied du talus, à droite et à gauche du massif qui contient les conduites de prise d'eau, est pratiqué un drain collecteur ménagé à la base du revêtement en béton et communiquant avec le drainage général par des barbacanes espacées de 2 en 2 mètres. La position des barbacanes sera repérée à l'extérieur; et de cette sorte, pour trouver une fissure dans le revêtement principal, il suffira de remonter ce revêtement suivant la ligne de plus grande pente qui aboutit à la barbacane dont le débit en accuse l'existence.

Les drains collecteurs versent leurs eaux dans la galerie qui donne accès aux robinets, et de là dans l'aqueduc inférieur.

Ils s'élèvent à droite et à gauche jusqu'au sommet du barrage, passent sous son couronnement et vont déboucher sur le talus aval du remblai. Ils mesurent 1 mètre de largeur et $1^m,50$ de hauteur verticale sous clef. Un homme

peut les parcourir sans trop de difficulté. Ils ont pour radier le roc vif.

Les drains collecteurs, encore à l'état d'amorces, ont joué un rôle important pendant la construction du remblai, en suppléant, comme moyen d'écoulement, à l'insuffisance de l'appareil de prise d'eau.

Construction du revêtement en béton. — Le sable et le gravier nécessaires au béton proviennent, ainsi que les terres du remblai, de la Prade de Camou; ils sont lavés sur place à l'eau courante, dosés et mis en dépôt.

Le mélange de sable et gravier est chargé sur wagons, porté sur le barrage et déposé sur des plates-formes en charpente disposées le long de la voie ferrée et sur lesquelles le béton se fabrique; pour ce nouveau service, on se sert de wagons à terrassements modifiés de manière à verser, non en avant, mais de côté.

Dans un des angles de chaque plate-forme, est pratiqué un trou carré de $0^m,30$ de côté, auquel correspond un manchon vertical en planches de $2^m,50$ de hauteur, où s'échelonnent de $0^m,25$ en $0^m,25$ des barreaux de fer horizontaux de $0^m,02$ de diamètre, dont les directions s'entre-croisent.

Cet ensemble constitue une bétonnière. Les bétonnières sont espacées moyennement de 16 mètres de milieu en milieu.

L'extinction de la chaux se fait sur la plate-forme. L'eau nécessaire à cette opération est puisée dans des cuves en bois placées entre les voies d'arrivée et de retour des wagons, en face de chaque bétonnière. Toutes ces cuves sont maintenues constamment pleines par une conduite en

bois de $0^m,05$ de hauteur sur $0^m,10$ de largeur, embranchée sur le fossé latéral à la voie d'arrivée; l'excès d'eau se déverse de la dernière cuve sur le talus d'aval du remblai.

La chaux en pâte est répandue sur une couche dosée de sable et de gravier, épaisse de $0^m,15$ environ. On donne un tour de pelle pour commencer le mélange, et l'on jette ensuite la matière dans le manchon, où le mélange s'achève.

Le béton ainsi fabriqué tombe dans un couloir en planches, dont la pente est celle du talus du remblai.

Le couloir a $0^m,20$ de largeur. Pour faciliter le glissement du béton, le fond est revêtu de zinc. Le béton y forme une couche de $0^m,06$ à $0^m,10$ d'épaisseur qui glisse lentement à raison de $0^m,05$ à $0^m,10$ par seconde. Arrivé à l'extrémité inférieure du couloir, il tombe dans une caisse où on le prend à mesure pour l'employer.

Souvent, dans le mouvement de descente du béton, de petites pierres se détachent de la masse, roulent, bondissent, et pourraient blesser les ouvriers qui travaillent au bas des couloirs. Pour parer à ce danger, on a suspendu dans l'intérieur du couloir, à peu près de $3^m,50$ en $3^m,50$, des planchettes-pendules qui ne touchent ni les bords ni le fond; ces planchettes reçoivent le choc des petites pierres et amortissement la vitesse.

Déversoir. — Le trop-plein du réservoir s'écoulera par un déversoir de 40 mètres de longueur, creusé dans le granit à droite du barrage. Dans les plus grandes crues, en supposant le réservoir plein, il passera sur le déversoir une tranche d'eau d'environ $0^m,50$ d'épaisseur, ce qui correspond à un débit de 25^{mc} par seconde.

Dépenses. — Les travaux sont évalués à 908 000 francs. Ils s'exécutent en régie. Une économie très importante sera réalisée sur les prévisions du projet. Le prix du mètre cube d'eau emmagasiné reviendra à $0^{f},10$ environ.

Les premières études sont dues à feu M. l'ingénieur en chef Montet; elles datent de l'année 1840.

Pour les projets définitifs et pour la direction des travaux, M. l'ingénieur en chef Michelier a été secondé de 1867 à 1873 par M. l'ingénieur d'Ussel, puis par M. l'ingénieur Lix, dont la fin prématurée, en décembre 1875, fut sans doute hâtée par les fatigues qu'il n'avait pas craint de s'imposer; enfin M. l'ingénieur Alvin a succédé à M. Lix en juillet 1876.

VIII

TRAVAUX D'ASSAINISSEMENT

ET DE MISE EN VALEUR DES LANDES DE GASCOGNE.

(DÉPARTEMENTS DE LA GIRONDE ET DES LANDES.)

Une carte à l'échelle de $\frac{1}{80\,000}$.

Exposé préliminaire. — Les terrains connus sous le nom général de « Landes », qui se trouvent compris entre la mer et les vallées de la Garonne et de l'Adour, présentent une superficie d'environ 8 000 kilomètres carrés, dont la presque totalité, il y a vingt-cinq ans, était encore inculte et inhabitée. On n'y trouvait, de loin en loin, que des chaumières isolées et quelques bouquets de pins, inaccessibles l'hiver par suite de l'inondation des terrains environnants.

Depuis longtemps, de nombreux essais avaient été faits pour la mise en rapport de cette sorte de désert, mais ils avaient tous échoué devant l'insalubrité du pays et la stérilité du sol.

En 1849, après plusieurs années d'étude du pays, il fut constaté qu'on pourrait assainir tous ces terrains marécageux par des travaux fort simples, qui leur donneraient une fertilité extraordinaire et permettraient de les mettre tout de suite et à peu de frais en culture forestière.

Les premiers résultats obtenus par des essais pratiques

furent reconnus si concluants qu'une loi fut rendue, le 19 juin 1857, pour prescrire l'assainissement et la mise en valeur de toutes les landes communales des deux départements de la Gironde et des Landes, qui forment la plus notable portion du territoire inculte et malsain.

Ce sont les travaux exécutés en vertu de cette loi qui se trouvent indiqués dans la carte exposée.

Dispositions générales, objet et utilité des travaux. — Les Landes constituent un vaste plateau presque entièrement horizontal, formé d'une couche de $0^m,60$ de terre maigre et sablonneuse, sans aucune trace d'argile ou de calcaire, reposant sur un sous-sol imperméable.

Il n'y existe aucune source, aucune trace d'eau pendant l'été; en hiver, au contraire, les eaux pluviales, si abondantes sur les côtes de l'Océan, s'abattent pendant plus de six mois sur le plateau, et, n'y trouvant ni écoulement intérieur ni écoulement superficiel, elles y restent stagnantes jusqu'à ce qu'elles aient été évaporées par les chaleurs. Ainsi, l'inondation permanente l'hiver, la sécheresse absolue d'un sable brûlant l'été, tels sont les caractères principaux du terrain.

Qu'on se figure maintenant l'effet de ce passage continuel d'une inondation de six mois à une longue sécheresse qui y succède, et l'on aura l'idée de la stérilité du sol et de l'insalubrité que devait présenter la contrée antérieurement aux travaux d'assainissement.

Description des travaux. — Les améliorations réalisées par les ingénieurs se sont étendues, dans la Gironde,

à cinquante-deux communes et comprennent une superficie totale de 107 811 hectares.

Dans le département des Landes, le nombre des communes est de cent dix, et la surface de 183 714 hectares.

Total pour l'ensemble des cent soixante-deux communes, 291 525 hectares.

Une surface plus considérable a été assainie et ensemencée par les propriétaires.

Les ouvrages exécutés par l'Administration pour les landes communales comprennent, dans la Gironde, une longueur de voies d'écoulement de 1 086 kilomètres, et dans le département des Landes, une longueur de 1 111 kilomètres.

Total pour les deux départements, 2 197 kilomètres.

Les canaux, tracés suivant la ligne de plus grande pente du plateau, ont une largeur moyenne de 5 à 6 mètres au plafond et une pente de $0^m,002$ à $0^m,001$ par mètre.

Pour la partie des landes de la Gironde qui se trouve sur le versant de l'Océan et dont les eaux sont arrêtées par la chaîne de dunes qui borde sans interruption le littoral sur 120 kilomètres, il a été nécessaire d'ouvrir un collecteur de 12 mètres de largeur au plafond, reliant entre eux les étangs formés au pied des dunes et donnant une issue à toutes les eaux du versant.

Époque et durée des travaux. — Les travaux d'assainissement des landes communales de la Gironde ont été commencés en 1858 et terminés en 1865. Ceux du département des Landes ont été commencés à la même époque et achevés en 1877, sauf 269 hectares toutefois qui restaient encore à assainir en 1878.

Dépenses et résultats. — Le montant des dépenses s'est élevé, dans la Gironde, à 574 108 francs, et dans le département des Landes, à 319 362 francs.

Total, 893 470 francs.

Il résulte des relevés, que la valeur des landes communales ensemencées était, au commencement de 1877, pour la Gironde, de 30 955 700 francs, et pour le département des Landes, de 49 308 900 francs.

Total pour les deux départements, 80 264 600 francs.

Indépendamment de cette superficie, une étendue de landes de 350 000 hectares appartenant à des propriétaires a été ensemencée et représentait, au 1er janvier 1877, une valeur de 125 millions.

Total de la valeur actuelle des landes ensemencées, 205 264 600 francs.

Par suite de la plus-value que les travaux d'assainissement ont donnée aux terrains, les communes ont pu vendre une partie de leurs landes et, avec le produit, réaliser des améliorations dont il suffit de donner l'énumération, savoir :

Construction et restauration d'églises, de presbytères, de mairies et de maisons d'école; création de puits d'eau potable; translation de cimetières; subventions et allocations spéciales pour chemins vicinaux, etc., le tout représentant une somme de 7 503 915 francs.

On peut juger, d'après ces chiffres, du développement moral et intellectuel qui a dû se produire.

Les résultats des travaux au point de vue sanitaire n'ont pas été moins satisfaisants.

Les fièvres qui ravageaient le pays ont complètement

disparu, et des enquêtes officielles ont constaté que cette contrée, jadis si insalubre, pouvait être considérée aujourd'hui comme une des plus saines de la France.

Les communes ont payé tous les travaux d'assainissement et d'ensemencement, ainsi que les améliorations indiquées ci-dessus, sans le moindre concours de l'État ni du département; non seulement le produit de leurs landes a couvert la totalité des dépenses, mais elles ont placé en outre une somme de 4 352 746 francs en rentes sur l'État.

Avant la loi de 1857, la contrée des landes de Gascogne était une des régions les plus pauvres de la France. Elle est aujourd'hui une des plus riches et des plus prospères.

Les travaux d'assainissement et de mise en valeur des landes de la Gironde ont été commencés sous la direction de MM. Malaure, ingénieur en chef, et Chambrelent, ingénieur ordinaire, et terminés sous la direction de M. Chambrelent, ingénieur en chef, et Lemoyne, ingénieur ordinaire. Ils ont été surveillés par M. Courret, conducteur des Ponts et Chaussées.

Dans le département des Landes, les travaux ont été commencés sous la direction de MM. Pairier, ingénieur en chef, et Crouzet, ingénieur ordinaire. Ils ont été continués par MM. Crouzet, ingénieur en chef, Aubé et Salles, ingénieurs ordinaires, et achevés sous la direction de MM. Perreau, ingénieur en chef, Aubé, ingénieur ordinaire, et Rodrigues, conducteur principal faisant fonctions d'ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées.

TROISIÈME SECTION.

NAVIGATION INTÉRIEURE.

IX

CANAL DE L'EST.

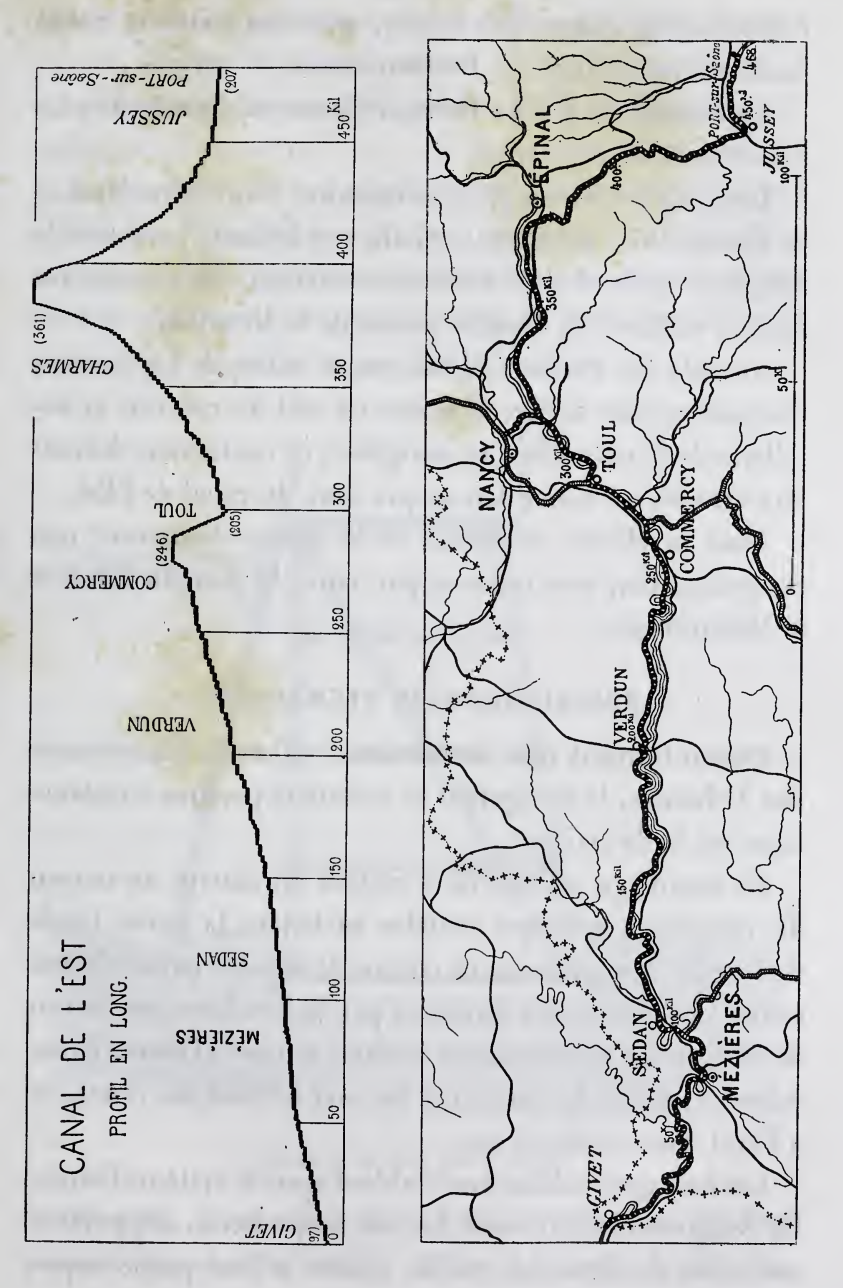
(ARDENNES, MEUSE, MEURTHE-ET-MOSELLE, VOSGES ET HAUTE-SAÔNE.)

Un cadre de dessins. — Carte et profil en long.

Exposé. — Le canal de l'Est rétablit sur le territoire français les voies navigables interceptées par la nouvelle frontière, et met en communication le Nord, l'Est et le Midi de la France.

Cette nouvelle voie, dont l'ouverture a été autorisée par une loi du 24 mars 1874, se relie près de Givet, à la limite du département des Ardennes et de la Belgique, avec la Meuse belge, dont l'amélioration est également en cours d'exécution et peut être considérée comme terminée.

Le tracé remonte la vallée de la Meuse jusqu'au point où celle-ci est traversée, près de Sorcy, par le canal de la Marne au Rhin. Il emprunte ce canal sur une longueur de 27 kilomètres jusqu'à Toul, remonte la vallée de la Moselle jusqu'auprès d'Épinal, franchit les Vosges sans souterrain,


CANAL DE L'EST
PROFIL EN LONG.
GIVET
MÉZIÈRES
SEDAN
VERDUN
COMMERCY
TOUL
CHARMES
JUSSEY
PORT-sur-Saône
(97)
(361)
(246)
(205)
(207)
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450 Kil
NANCY
TOUL
ÉPINAL
COMMERCY
VERDUN
SEDAN
MÉZIÈRES
GIVET
JUSSEY
PORT-sur-Saône
50 Kil
100 Kil
150 Kil
200 Kil
250 Kil
300 Kil
350 Kil
400
450 Kil

redescend en côtoyant le Coney, puis emprunte la Saône canalisée pour aboutir à Port-sur-Saône.

La distance de Givet à Port-sur-Saône est ainsi de 480 kilomètres en nombre rond.

Deux embranchements à construire, l'un entre Messein et Laneuville, l'autre entre Golbey et Épinal, porteront la longueur totale à 500 kilomètres environ. Le premier reliera la vallée de la Moselle à celle de la Meurthe.

Au delà de Port-sur-Saône, on a entrepris les travaux nécessaires pour mettre la Saône en état de recevoir la batellerie de la nouvelle voie navigable, et ces travaux doivent être achevés en même temps que ceux du canal de l'Est.

Ainsi la Meuse, la Saône et le Rhône donneront une communication non interrompue entre la mer du Nord et la Méditerranée.

RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES.

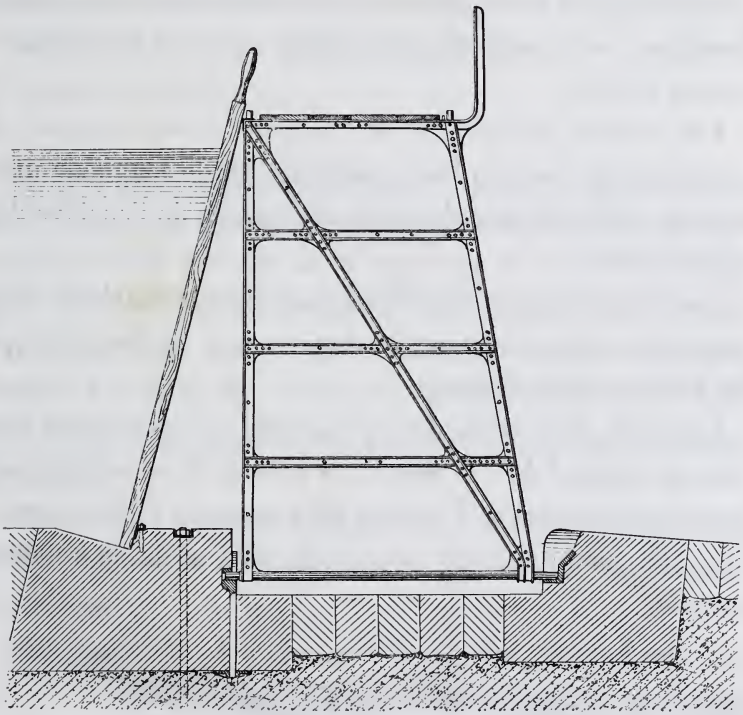
Département des Ardennes. — Dans le département des Ardennes, la navigation se maintient presque constamment en lit de rivière.

Le mouillage normal de 2 mètres est obtenu au moyen de vingt-deux barrages mobiles rachetant la pente totale de $62^{m},86$ que présente la rivière dans cette partie de son cours. Ces chutes sont franchies par la batellerie au moyen de dérivations généralement courtes, munies à l'amont d'une écluse ou porte de garde qui les met à l'abri des crues, et à l'aval d'une écluse à sas.

Ces barrages mobiles sont établis d'après le système Poirée. Ils comprennent un seuil fixe en maçonnerie, supportant une série de fermettes en fer reliées à leur partie supé-

rieure par des cornières; des aiguilles en bois, formant rideau, s'appuient à leur sommet contre ces cornières et sont maintenues à leur pied par une saillie ménagée dans le radier.

En cas de crues, ces aiguilles sont enlevées par un agent spécial et déposées sur la rive. Les fermettes sont elles-mêmes couchées dans une chambre ménagée dans le radier, de telle sorte que les grandes eaux ne rencontrent aucun obstacle capable d'en augmenter la hauteur.



Échelle de $0^m,025$ pour 1 mètre.

On a dû, à cet effet, donner aux barrages un développement qui est d'environ 55 mètres à l'amont du départe-

ment des Ardennes et qui atteint 120 mètres à la limite de la Belgique.

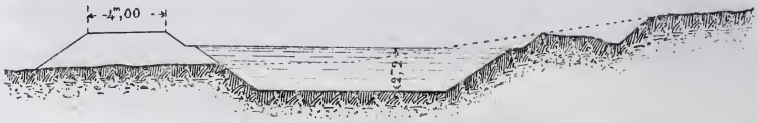
Le seuil fixe est arasé à $1^m,80$ en contre-bas de la retenue normale, mais celle-ci peut, en cas de besoin, être relevée de $0^m,30$ à $0^m,40$.

Tous les barrages correspondent entre eux par un fil télégraphique permettant de transmettre aux barragistes les instructions nécessaires pour que les manœuvres se fassent en temps utile. Cette ligne assurera également, entre les mariniers et les expéditeurs ou les destinataires de marchandises, une communication facile qui leur fait ordinairement défaut.

Les écluses ont $5^m,70$ de largeur entre bajoyers et 50 mètres de busc en busc, soit $45^m,45$ de longueur utile entre la corde du mur de chute et l'origine de l'enclave des portes d'aval.

Ces dimensions sont justifiées par celles des écluses déjà construites entre Givet et Verdun en vue de l'ancien type des bateaux de la Meuse.

Le profil en travers des dérivations comporte une largeur au plafond de 12 mètres, 2 mètres de mouillage minimum et des talus à 3 mètres de base pour 2 de hauteur, avec une banquette de $0^m,50$ au niveau de la retenue normale.



Dans les parties en rivière, le chenal a 20 à 25 mètres de largeur minimum et $2^m,20$ ou $2^m,30$ de mouillage.

La hauteur libre sous les ponts, pour le passage des bateaux, est fixée à 4 mètres.

Ces travaux sont presque entièrement terminés; la navigation est ouverte dans toute la traversée du département.

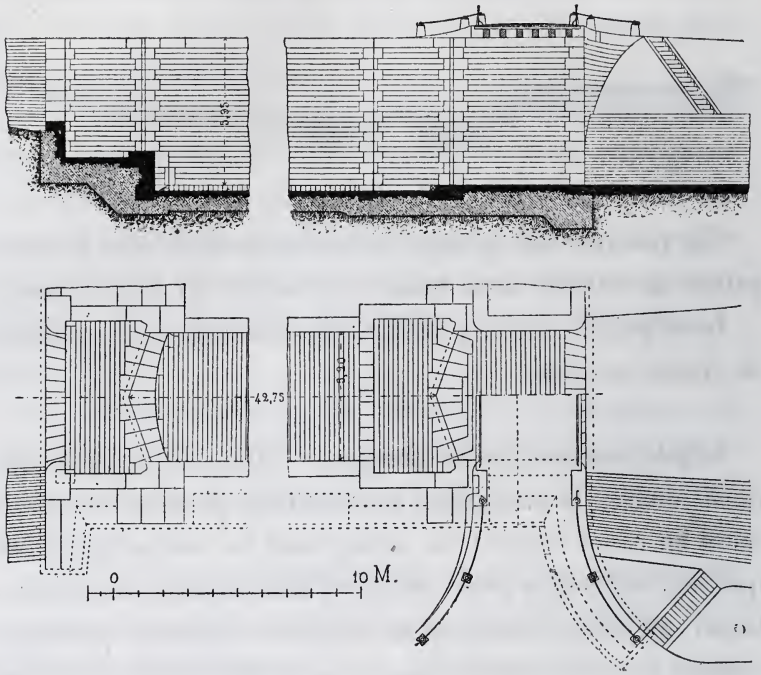
La dépense, au 31 juillet 1879, s'élevait à 14 millions de francs environ.

Département de la Meuse. — Dans le département de la Meuse, la navigation se maintient presque constamment en canal latéral; on n'emprunte la rivière qu'autant qu'il est nécessaire pour assurer l'alimentation des dérivations, ou bien encore pour traverser certains passages, comme les villes de Verdun et de Saint-Mihiel, où l'établissement d'un canal aurait présenté des difficultés exceptionnelles.

En aval de Verdun, le profil en travers des dérivations et les dimensions des écluses sont les mêmes que dans les Ardennes.

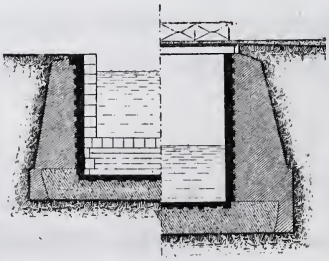
En amont de Verdun, la largeur au plafond varie de 10 à 12 mètres, suivant les sujétions locales; les écluses ont, conformément à la décision ministérielle du 20 juillet 1877, une largeur de $5^{m},20$ et une longueur utile de $38^{m},50$, mesurée comme il a été dit. Toutefois, quelques-unes des écluses, terminées avant la date de la décision

précitée, doivent être allongées d'environ $2^m,65$. La hauteur libre sous les ponts est fixée à $3^m,70$.



Parmi les ouvrages du canal de l'Est qui méritent une

Demi-coupe transversale sur la chambre d'amont.

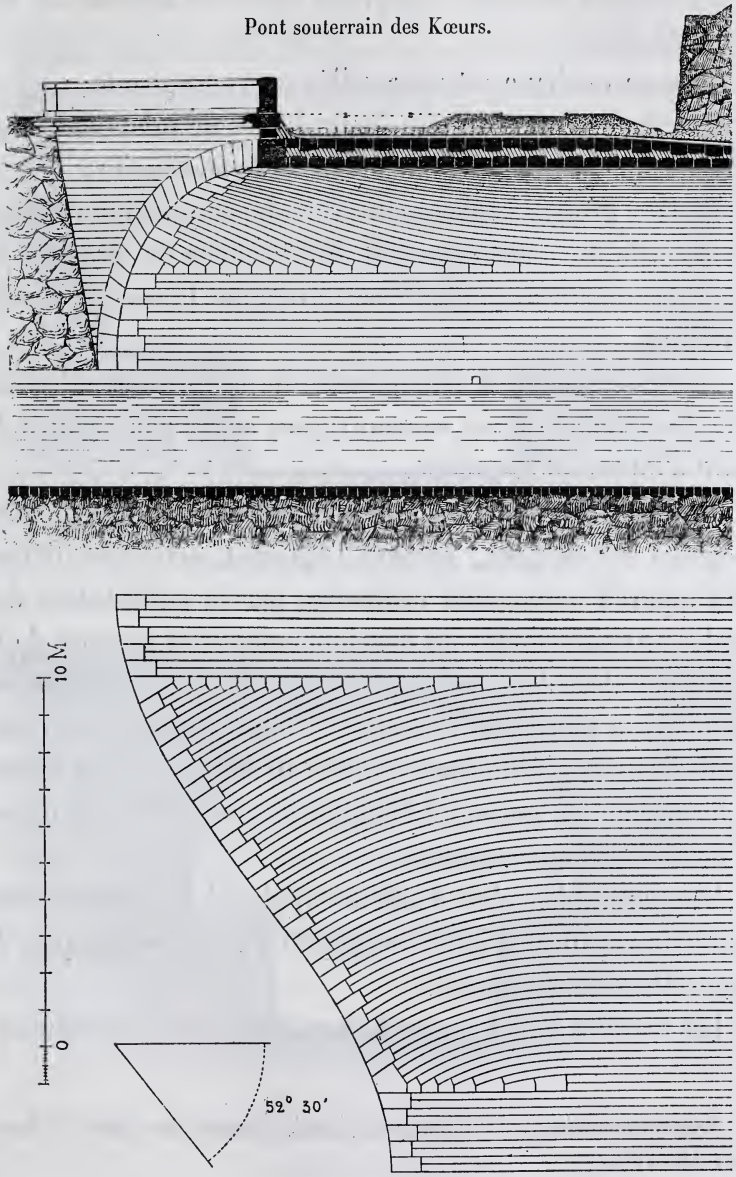


Demi-coupe transversale sur l'axe du pont.

mention spéciale, il y a lieu de citer particulièrement un souterrain en plein cintre à têtes biaises qui a été construit

près des Kœurs (Meuse) et auquel a été appliqué un nouvel appareil convergent simplifié.

Pont souterrain des Kœurs.



Cet ouvrage est divisé en trois zones, savoir :

Une zone médiane limitée par deux sections droites;

Deux zones extrêmes comprises entre ces sections et les plans de tête.

La zone médiane est appareillée en voûte droite.

Quant aux zones de tête, leurs lignes de joints ont pour transformées dans le développement de la douelle :

1° Des droites convergeant vers le point d'intersection de la corde du développement de la courbe de tête avec la ligne droite suivant laquelle se développe la section droite extrême;

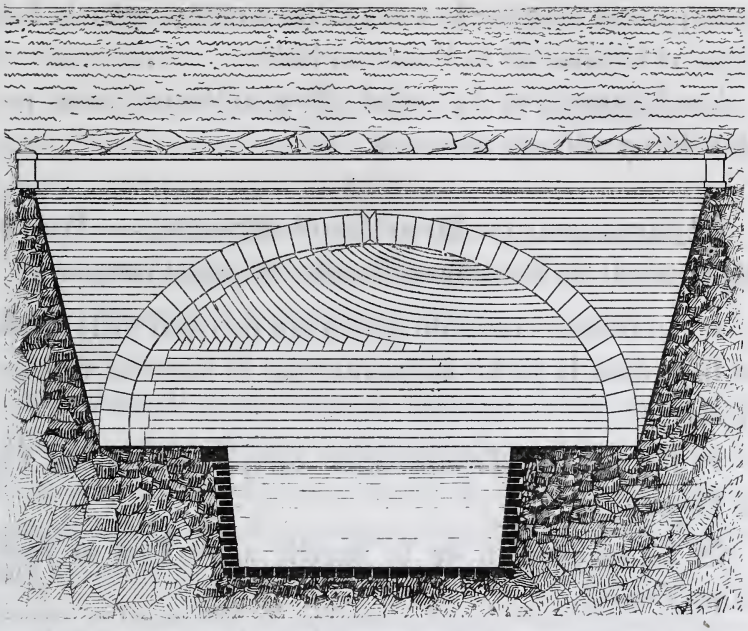
2° Les trajectoires orthogonales de ces droites, c'est-à-dire des circonférences concentriques ayant pour centre le point d'intersection précité.

Cet appareil biais très simple dérive du système orthogonal convergent, comme l'appareil hélicoïdal dérive de l'appareil orthogonal ordinaire, par la substitution des cordes aux sinussoïdes de développement des sections de la voûte par des plans convergents vers l'arête d'intersection du plan de tête et de la section droite extrême. Son principal avantage est de rendre uniforme la largeur des assises et de permettre par suite l'emploi de matériaux ordinaires et de dimensions courantes.

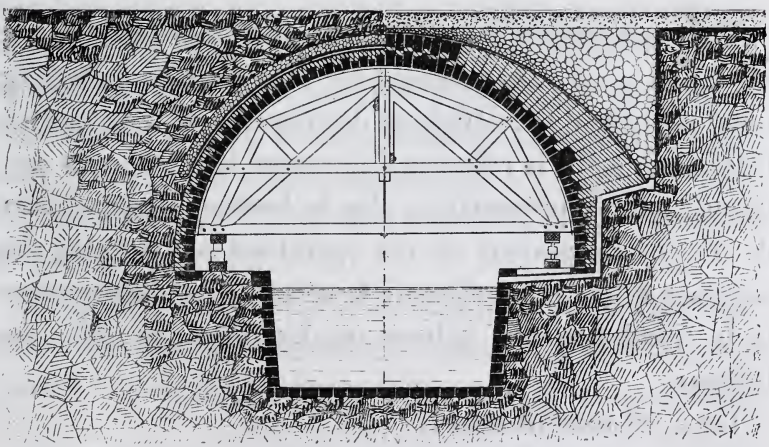
L'appareil biais n'est d'ailleurs appliqué qu'au-dessus des joints de rupture. Il jouit, au point de vue géométrique, de propriétés intéressantes [1].

Les travaux sont à peu près terminés, et les communica-

[1] Voir un mémoire de M. l'ingénieur Picard. (*Annales des Ponts et Chaussées*, déc. 1879.)



Élévation de la tête aval du souterrain.



Demi-coupe en galerie. Demi-coupe à ciel ouvert.

Échelle de $0^{m},005$ pour 1 mètre.

tions par eau sont sur le point d'être ouvertes entre la Belgique et le canal de la Marne au Rhin.

Les dépenses, au 31 juillet 1879, s'élevaient à un peu plus de 17 millions de francs.

Département de Meurthe-et-Moselle. — Dans le département de Meurthe-et-Moselle, le projet comporte :

1° Le relèvemement du plan d'eau du canal de la Marne au Rhin dans la partie empruntée par la nouvelle voie navigable;

2° Les travaux d'alimentation complémentaire du bief de Pagny;

3° La canalisation de la Moselle entre Toul et Pont-Saint-Vincent;

4° L'établissement d'un canal latéral en amont de Pont-Saint-Vincent.

Exhaussement du mouillage du canal de la Marne au Rhin. — L'exhaussement à 2 mètres du mouillage du canal comprend le relèvement des digues, celui des parties bétonnées, enfin la réfection de presque tous les ponts par-dessus, qui ne présentaient plus la hauteur réglementaire de $3^{m},70$. La plupart de ces opérations ont entraîné des sujétions spéciales, à raison de la nécessité de n'interrompre ni la circulation des voitures ou des trains, ni celle des bateaux.

On a été conduit ainsi :

1° Pour le pont en maçonnerie de la station de Frouard, à mettre la voûte sur cintres et à la soulever d'un seul

bloc, au moyen de vérins, après avoir déposé les voussoirs des naissances[1];

2° Pour le pont biais en maçonnerie de Champigneulles, sur le chemin de fer de Paris à Strasbourg, à rescinder la voûte à l'intrados et à en réduire ainsi l'épaisseur de $0^m,44$ sur la plus grande partie de son étendue[1].

La dépense a été d'environ 650 000 francs; les travaux sont entièrement terminés.

Alimentation du bief de Pagny. — Le grand bief de Pagny (18 kilomètres), au moyen duquel le canal de la Marne au Rhin passe sans écluses du bassin de la Meuse dans celui de la Moselle, forme un véritable bief de partage pour le canal de l'Est; il est à 148 mètres au-dessus de Givet et à 39 mètres au-dessus de Toul. Son alimentation, déjà insuffisante pour les besoins de la navigation actuelle, a dû être complétée au moyen de trois prises d'eau avec machines hydrauliques élévatoires installées sur la Moselle en amont de Toul. Ces trois groupes de machines représentent une force brute totale de plus de 800 chevaux, et se composent chacun de deux turbines actionnant directement trois pompes doubles horizontales à pistons plongeurs du système Girard. L'un de ces demi-groupes figurait à l'Exposition de 1878.

L'une des usines, celle de Valcourt, fonctionne régulièrement; celle de Pierre-la-Treiche est également terminée; quant à la troisième, celle de Villey-le-Sec, la construction

[1] Voir le mémoire de M. l'ingénieur Picard et de M. Bruniquel, ingénieur principal attaché à la Compagnie des chemins de fer de l'Est. (*Annales des Ponts et Chaussées*, avril 1879.)

en a été provisoirement ajournée, jusqu'à ce que l'expérience en ait révélé la nécessité.

La dépense faite au 1er juillet 1879 était de 1 200 000f environ.

Canalisation de la Moselle entre Toul et Pont-Saint-Vincent. — Les travaux de canalisation de la Moselle entre Toul et Pont-Saint-Vincent sont presque identiques à ceux de la Meuse Ardennaise. Ils ont été commencés en 1872 et terminés en 1874, au moyen d'une avance spéciale de 2 100 000 francs faite à l'État par le département de Meurthe-et-Moselle. Ils comprennent cinq barrages mobiles avec dérivations éclusées.

Section de Pont-Saint-Vincent à Gripport. — En amont de Pont-Saint-Vincent, la voie navigable présente exclusivement le caractère de canal latéral; cette section renferme l'ouvrage le plus important de la ligne, un pont-canal de 120 mètres d'ouverture sur la Moselle. La dépense faite au 1er juillet 1879 était de 2 200 000 francs environ; on travaille très activement sur cette section.

Branche de Nancy. — La branche de Nancy établira une deuxième jonction entre le canal de l'Est et le canal de la Marne au Rhin, en traversant le col dit « du Mauvais-Lieu ». Sa longueur sera de 10 kilomètres et le nombre des écluses de dix-huit : cinq sur le versant de la Moselle et treize sur le versant de la Meurthe. On n'a encore attaqué que le versant de la Moselle et le bief de partage, dont la tranchée livre passage à un aqueduc amenant jusqu'à

Nancy des eaux puisées dans la Moselle au moyen de machines hydrauliques élévatoires.

L'alimentation de ce bief de partage s'effectuera également à l'aide de pompes mues par des roues turbines à axe horizontal du système Girard.

L'estimation de la branche de Nancy est d'environ 3 millions de francs, dont la moitié est actuellement dépensée.

Départements des Vosges et de la Haute-Saône. — Section de Gripport à Golbey (près Épinal). — Cette section constitue, comme la précédente, un canal latéral, parallèle à la Moselle. On y travaille maintenant avec une très grande activité.

Montée de Golbey. — A partir de Golbey, la voie navigable s'élève rapidement de 45 mètres au moyen de quinze écluses échelonnées dans un vallon de 3 kilomètres de longueur; elle présente l'aspect d'une série d'étangs superposés, séparés par des digues et communiquant par des écluses. Ce travail est terminé.

Bief de partage. — Le bief de partage, d'une longueur de 11 kilomètres, est entièrement à ciel ouvert.

Son alimentation sera assurée à l'aide du réservoir de Bouzey, d'une capacité de 7 millions de mètres cubes environ.

Une rigole de plus de 40 kilomètres, traversant deux contreforts des Vosges au moyen de souterrains de 1 500^{m} de longueur, permettra de verser annuellement dans le

réservoir un volume d'eau minimum de 6 à 7 millions de mètres cubes, prélevé sur les crues de la Moselle.

Les terrassements du bief de partage comprennent deux tranchées principales, dont les cubes sont respectivement de 190 000^{mc} et 340 000^{mc}.

Le bief de partage ainsi que les fondations de la digue en maçonnerie du réservoir de Bouzey sont à peu près terminés.

Section de Girancourt à Corre. — A partir du bief de partage, la navigation se maintiendra en canal latéral, en longeant successivement le ruisseau des Sept-Pêcheurs, puis le Coney jusqu'à son confluent avec la Saône à Corre.

Saône canalisée. — Dans la vallée de la Saône, la navigation se fera de nouveau en rivière, avec barrages mobiles et dérivations éclusées du type précédemment décrit.

État d'avancement des travaux. — Une grande activité a été imprimée depuis quelques mois aux travaux dans les Vosges et la Haute-Saône. La dépense faite au 31 juillet 1879 était de 7 millions de francs environ.

RENSEIGNEMENTS FINANCIERS.

Le montant total des dépenses prévues était de 65 millions.

Cette somme devait être avancée à l'État par un syndicat formé des cinq départements des Ardennes, de la Meuse, de Meurthe-et-Moselle, des Vosges et de la Haute-Saône, traversés par la nouvelle voie navigable.

L'État payait au syndicat 4 p. o/o d'intérêt sur les sommes

avancées, au fur et à mesure de leur versement, et il devait effectuer le remboursement complet en vingt ans, de 1882 à 1901, au même taux de 4 p. o/o.

Le syndicat, de son côté, a emprunté les 65 millions auprès du Crédit foncier, auquel il s'est engagé à verser :

1° Les intérêts et les annuités de remboursement qu'il reçoit de l'État;

2° Vingt-huit annuités de 1 050 000 francs, payables de 1882 à 1909.

Le syndicat devait s'indemniser de la différence d'intérêts au moyen d'un péage de $0^{f},005$ par tonne et par kilomètre, qu'il était autorisé à percevoir sur les marchandises parcourant la nouvelle voie navigable.

Les départements étaient d'ailleurs couverts contre l'insuffisance éventuelle du péage par des garants qui s'étaient engagés à parfaire, s'il y avait lieu, le produit attendu du péage pendant la durée de l'amortissement, soit 1 150 000 fr. pour le canal entier, ou 2 300 francs environ par kilomètre. Le nombre des parts de garantie est de mille huit cent quatre-vingt-quinze, dont un tiers a été souscrit par les villes et les communes intéressées, un tiers par les représentants de l'industrie métallurgique, et le reste par divers industriels.

Le syndicat est administré par dix syndics titulaires et cinq syndics supplémentaires, membres des conseils généraux des départements intéressés, et élus par ces conseils.

Une loi récente ayant supprimé la perception des droits de navigation sur le canal de l'Est comme sur le reste du réseau navigable français, la combinaison exposée ci-dessus ne pourra recevoir sa pleine et entière exécution. Des pour-

parlers sont actuellement engagés en vue de la substitution pure et simple de l'État au syndicat. Toutefois, il a paru utile de rappeler une combinaison financière qui a permis d'engager une entreprise importante au lendemain d'une guerre désastreuse et sans recourir au crédit de l'État.

Les avant-projets avaient été étudiés en vue d'une stricte économie. Mais, en 1879, à la suite d'une étude d'ensemble des perfectionnements à apporter au réseau navigable français, une loi, en date du 31 juillet 1879, a ajouté aux prévisions primitives une somme de 31 800 000 francs pour les améliorations et compléments qu'il convenait d'apporter immédiatement à la nouvelle voie navigable.

En y ajoutant les 2 100 000 francs avancés par le département de Meurthe-et-Moselle, pour la canalisation de la Moselle entre Toul et Pont-Saint-Vincent, on voit que le montant total des prévisions afférentes au canal de l'Est s'élève à 98 900 000 francs.

Les projets ont été dressés et les travaux exécutés, sous la direction de M. l'inspecteur général Frécot, par MM. Colle, Poincaré, Volmerange, Holtz et Pugnières, ingénieurs en chef; par MM. Denys, Nicou, de Préaudau, Bourguin, Holtz, Gottland, Connesson, Picard, Derôme, Cahen, Thoux et Travelet, ingénieurs ordinaires; par M. Collier, sous-ingénieur, et par M. Hausser, conducteur faisant fonctions d'ingénieur.

La construction des machines élévatoires de Toul et de Messein a été confiée, à la suite de concours ouverts pour chacun des deux groupes, à MM. Callon, professeur à l'École centrale, et Feray, constructeur à Essonnes.

Les avant-projets avaient été faits par MM. Frécot, Holtz et Derôme, pour la partie comprise entre Port-sur-Saône et Sedan; et par MM. Colle et Nicou, pour la partie comprise entre Sedan et la Belgique.

APPENDICE.

A la construction du canal de l'Est se rattache étroitement l'amélioration de l'alimentation du bief de partage de Mauvages, du canal de la Marne au Rhin, par l'établissement de machines élévatoires à vapeur à Vacon.

Ces machines peuvent puiser dans les sources de Vacon ou dans le bief de Void (alimenté par les machines hydrauliques de Toul) 500 litres d'eau par seconde et les refouler à 37 mètres de hauteur. Leur force utile est de 250 chevaux en eau montée.

Elles comportent une batterie de cinq chaudières à bouilleurs et réchauffeurs, deux moteurs à vapeur à un seul cylindre, avec introduction et émission instantanées, et deux pompes Gérard à grande vitesse attelées directement aux tiges des pistons-vapeur.

Leur produit est conduit à Mauvages par une rigole maçonnée, avec siphons en fonte de 1 mètre de diamètre à la traversée de plusieurs vallons.

L'avant-projet a été étudié par M. Volmerange, ingénieur en chef, et M. Collier, sous-ingénieur. Les travaux ont été exécutés par MM. Frécot, inspecteur général; Holtz, ingénieur en chef, et Picard, ingénieur ordinaire; ils sont terminés.

Les machines ont été construites par MM. Cail et Cie.

X

TRAVAUX D'ENDIGUEMENT

DE LA SEINE MARITIME.

Un cadre de dessins.
Deux plans d'ensemble à l'échelle de $\frac{1}{80000}$ ($0^m,01$ pour 800 mètres).
Un profil en long comparatif
à l'échelle de $\frac{1}{66667}$ ($0^m,015$ pour 1 000 mètres) pour les longueurs
et à l'échelle de $\frac{1}{200}$ ($0^m,005$ pour 1 mètre) pour les hauteurs.

Exposé historique. — Les travaux d'endiguement de la Seine maritime ont déjà figuré à l'Exposition universelle de 1867 à Paris, à celle de 1873 à Vienne et à celle de 1878 à Paris. Douze ans se sont écoulés depuis le dernier prolongement des digues, et les résultats obtenus viennent définitivement réaliser les espérances que la situation de 1867 et de 1873 avait fait concevoir.

Nous rappellerons rapidement les conditions anciennes de la navigation à l'embouchure de la Seine et la marche que les travaux ont suivie.

Rouen est placé à 128 kilomètres en amont du seuil de l'embouchure de la Seine. La moitié de cette longue distance était à améliorer : c'était la section comprise entre La Mailleraye et la mer en aval de Honfleur, sur 60 kilomètres. La largeur du lit atteignait 1 000 mètres entre La Mailleraye et Villequier, 1 500 mètres à La Vacquerie,

3 200 mètres à Quillebeuf, 4 800 mètres au Marais-Vernier, 7 000 mètres en aval de La Roque, et 10 000 mètres en amont d'Honfleur. Cette vaste étendue était remplie de bancs de sable mobiles, que remaniaient sans cesse des courants violents de flot et de jusant; souvent en quelques jours le chenal se transportait d'une rive à l'autre. La profondeur était aussi variable et toujours insuffisante; dans les plus grandes marées, on trouvait en aval de Quillebeuf $4^m,30$ d'eau et seulement $1^m,76$ dans les faibles pleines mers de morte eau. En amont de Quillebeuf, la navigation était exposée à de nombreux dangers : 1° le banc du Flac, avec $4^m,55$ dans les grandes vives eaux, et $2^m,76$ dans les mortes eaux; 2° la Traverse; 3° la roche Brindel; 4° le banc des Meules, où l'on rencontrait à peu près les mêmes fonds.

Ces dangers épars sur la longueur du trajet étaient aggravés encore par le mascaret; les navires qui s'échouaient étaient perdus sans secours possible.

Dans ces conditions, de petits bateaux de 100 à 200 tonneaux pouvaient seuls parcourir le fleuve, et il fallait quatre jours pour aller de la mer à Rouen; de nombreuses épaves signalaient la route; le prix du fret entre la mer et Rouen s'élevait à 10 francs par tonne de 1 000 kilogrammes; le taux de l'assurance était de 1/2 p. 0/0.

Telle était la situation qu'il s'agissait d'améliorer. Les premiers travaux furent entrepris en vertu d'une loi du 31 mai 1846 qui ordonnait l'établissement de digues longitudinales, espacées de 300 mètres, entre Villequier et Quillebeuf.

En 1850, ce dernier point était atteint et le succès as-

suré; on construisit successivement la digue droite entre Quillebeuf et Tancarville (décret du 15 janvier 1852), la digue gauche entre Quillebeuf et La Roque (décret du 3 août 1853), puis la digue droite entre Tancarville et La Roque (décret du 14 juillet 1861), enfin les digues des deux rives entre La Roque et la Risle, espacées de 500 mètres (décret du 12 août 1863). On était là en 1867; depuis, on s'est borné à rattacher à la côte sous Grestain la digue de la rive gauche, et les importants résultats obtenus ont permis de s'arrêter dans la marche en avant et de revenir en arrière, à l'origine des travaux, pour les compléter par la digue du Sud, en aval de La Mailleraye, et par le dragage du banc des Meules. C'est donc au droit de l'embouchure de la Risle que se termine aujourd'hui l'endiguement de la Seine maritime, à 17 kilomètres en amont du seuil de la baie, à 43 kilomètres en aval de La Mailleraye, où est son origine.

Dépenses. — Les travaux exécutés pour l'amélioration de la Seine maritime ont fait l'objet d'une loi du 31 mai 1846 et de sept décrets successifs; ils représentaient dans leur ensemble, à la date du 31 décembre 1878, une dépense totale de 18 205 830 francs.

Travaux. — Toutes les digues ont été construites à pierres perdues, à l'aide de blocs de craie extraits dans les falaises qui bordent les deux rives de la Seine depuis Rouen jusqu'à la mer.

On exploite ces carrières en utilisant la division naturelle des massifs de craie par deux séries distinctes de

plans parallèles à peu près verticaux : une série est d'ordinaire parallèle au cours de la Seine et au front de la carrière, l'autre fait avec elle un angle obtus. On creuse une chambre au pied du massif, dans un banc tendre, on la limite des deux côtés à deux plans de division naturels, et on l'approfondit sur plusieurs mètres jusqu'à ce qu'on rencontre un plan de division parallèle au front. Des piliers convenablement ménagés supportent le ciel de la fouille; leur ruine produit l'abatage de tout le massif jusqu'à la partie supérieure de la falaise. On peut ainsi détacher à la fois jusqu'à 1 500^{mc} de pierres, qu'on débite ensuite à la poudre en blocs irréguliers de 0^{m},40 à 0^{m},60 de grosseur; on se sert aussi de coins chassés à la masse.

Les blocs qui ont des dimensions moindres, et même les menus débris, sont employés dans une certaine proportion en même temps que les gros matériaux, afin de réduire le volume des vides dans les massifs d'enrochements; mais chaque espèce est fournie séparément.

Les transports se font par bateaux; on emploie exclusivement des sloops de 30 à 70 tonneaux; les matériaux sont arrimés sur le pont, et leur cube est donné, d'après une expérience préalable, par le jaugeage de chaque bateau.

Les digues ont été ainsi construites à pierres perdues. Elles se subdivisent, selon leur hauteur, en deux types bien distincts : les unes ont été élevées au-dessus des plus hautes marées; les autres au contraire ont été faites submersibles, afin de moins troubler le régime général des marées.

Les digues hautes ont été employées jusqu'au delà de Tancarville sur la rive droite et jusqu'à La Roque sur la rive

gauche; au delà, jusqu'à leur extrémité, les digues sont basses. Le niveau de la crête est, à La Roque, sur la rive gauche, supérieur de $1^m,34$ aux basses mers moyennes de morte eau, et de $2^m,10$ aux basses mers moyennes de vive eau. La digue droite a été tenue $0^m,45$ plus haute que la digue gauche.

Depuis, des raisons d'économie ont fait adopter une digue basse en aval de La Mailleraye, rive gauche, et en quelques autres points.

Les digues ont été soumises, depuis leur construction, à des dégradations importantes. Une des causes principales de détérioration pour les digues hautes a été l'abaissement successif du niveau des basses mers produit par les travaux : à Quillebeuf, par exemple, le niveau moyen des basses mers de vive eau s'élevait, en 1862, à $1^m,60$ au-dessus de la cote actuelle; dans les grandes marées, le niveau de la basse mer descend de $0^m,33$ au-dessous de cette moyenne, tandis qu'autrefois c'était en morte eau que la mer arrivait à son maximum de dépression. A Caudebec, la différence entre les cotes des basses mers moyennes de vive eau, en 1862 et aujourd'hui, est de $0^m,69$.

Le mascaret exerçant son effort sur la partie des digues qui est immédiatement au-dessus des basses mers de vive eau, l'abaissement progressif de ce niveau a causé le déplacement de l'action du mascaret et en a fortement aggravé les dégâts. Maintenant que le régime des marées est redevenu constant, on a entrepris la consolidation définitive des digues hautes au moyen de risbermes perreyées, défendues par une ligne de pieux et de palplanches.

Les digues basses ne sont pas soumises au mascaret, qui

ne se fait pas sentir dans leur région; mais elles sont recouvertes de 4 mètres dans les marées moyennes de vive eau et la force des courants qui les traversent leur cause de graves dégâts.

On remédie à ce danger en perreyant.

Mascaret. — Nous devons nous arrêter un instant sur le mascaret, cette forte vague qui, dans la Seine, précède le flot et remonte le cours du fleuve en brisant violemment sur les rives.

On avait espéré le voir diminuer par la régularisation du lit. Cet heureux résultat s'est en effet produit à diverses époques; mais les périodes de calme ont été de peu de durée, et nous devons constater que le mascaret subsiste encore avec intensité. Il ne se montre pas entre la mer et Tancarville; là il commence à s'accentuer; il atteint à Quillebeuf son maximum et se maintient jusqu'en amont de Caudebec. Au delà du banc des Meules, il a perdu presque toute son énergie.

Aujourd'hui le mascaret n'est plus à redouter pour les navires; ils ne risquent plus de s'échouer et supportent le choc sans inconvénient.

Résultat des travaux. — Le résultat des travaux a été de modifier profondément le lit du fleuve et le régime des chenaux à l'embouchure; il s'en est suivi une transformation absolue de la navigation. En même temps, de très grandes prairies ont été créées.

Le lit, dans la partie endiguée, s'est approfondi au delà de ce qu'on pouvait espérer : la comparaison des profils en

long de 1829 et de 1877 fait ressortir cet effet : le lit s'est creusé de 7 mètres à la Traverse de Villequier, de 4 mètres à la Traverse d'Aizier, de 9 mètres en aval de Quillebeuf, de 5 mètres à La Roque. Enfin, des dragages ont abaissé le banc des Meules de 3 mètres.

En aval des digues, dans l'estuaire de 17 kilomètres où le chenal peut se déplacer librement, l'effet des travaux n'est pas moins remarquable; le chenal est loin d'être entièrement fixe, mais il n'y a aucune comparaison à établir entre ses légères oscillations actuelles et les déplacements brusques si fréquents autrefois.

Le banc des Meules demeure le haut-fond le plus élevé du fleuve.

En 1879, la hauteur d'eau a atteint $8^{m},12$ en pleine mer de vive eau et n'est jamais descendue au-dessous de $4^{m},76$ en pleine mer de morte eau. Pendant deux jours seulement, la profondeur d'eau à pleine mer a été inférieure à 5 mètres.

Les progrès de la navigation ont suivi l'amélioration du lit du fleuve : en 1852, le port maritime de Rouen avait reçu 3 677 navires et $351\,014^{tx}$ de marchandises diverses. Le chargement moyen ressortait à 95^{tx}. A la sortie on trouve $324\,775^{tx}$, ce qui donne un tonnage total de $675\,789^{tx}$.

En 1861, le port maritime recevait 2 692 navires portant $272\,477^{tx}$ (soit un chargement moyen de 100^{tx}); à la sortie, on trouve $269\,604^{tx}$; d'où un tonnage total de $542\,081^{tx}$.

En 1878, on compte, à l'entrée, 755 voiliers portant $166\,102^{tx}$ (chargement moyen 220^{tx}) et 1 041 vapeurs portant $508\,926^{tx}$ (chargement moyen 489^{tx}). Le tonnage

total du port maritime a donné 876 798^{tx} (entrées et sorties réunies).

Si, à ce dernier chiffre, on ajoute 117 236^{tx} de transit et 121 359^{tx} venant du bassin fluvial ou s'y rendant, on obtient pour la navigation maritime qui fréquente la Seine en aval de Rouen, à la remonte et à la descente, un tonnage de 1 115 392^{tx}.

Le tonnage des navires à vapeur, à l'entrée, a passé de 111 367^{tx} (1869) à 508 926^{tx} (1878); le rapport de ce dernier nombre au précédent est 4,57.

Enfin, en 1878, on a reçu 165 navires tirant plus de 5 mètres d'eau, 229 navires tirant de 4^{m},51 à 5 mètres, 376 navires tirant de 4^{m},01 à 4^{m},50, 259 navires tirant de 3^{m},51 à 4 mètres.

En 1867, un navire hambourgeois calant 4^{m},30 était arrivé au port de Rouen.

En 1873, le port de Rouen a pu recevoir un navire anglais calant 5^{m},19.

Enfin, en 1877, nous citerons le navire anglais *Tyro*, calant 6^{m},50, qui est entré dans le port le 12 juillet.

Le prix du fret entre Rouen et le Havre, qui était autrefois de 10 francs, s'est maintenu à 5 francs depuis 1867.

Le trajet de la mer à Rouen se fait en huit ou dix heures, et le trajet inverse en une marée ou deux au plus.

La Seine maritime aboutit à Rouen, et le développement de ce port donne bien la mesure des améliorations produites par l'endiguement de ce fleuve.

Nous ne devons pas cependant négliger de citer les progrès plus modestes de trois ports de moindre importance, placés sur la Seine entre Rouen et la mer : Duclair a eu en

1878 un mouvement de 17 100^{tx}; La Mailleraye, un mouvement de 10 478^{tx}, et Caudebec, un mouvement de 15 953^{tx}.

Alluvions. — En arrière des digues, dans l'emplacement occupé auparavant par les sables mobiles, se sont formées des prairies d'alluvion considérables; leur superficie est de 8 400 hectares.

Elles se divisent en trois catégories distinctes : terres remises aux riverains, terres appartenant à l'État, alluvions en voie de formation.

1° L'État a remis aux riverains 2 613 hectares et a reçu une indemnité de plus-value de 1 389 200 francs.

2° Une superficie de 3 710 hectares donne lieu chaque année à des ventes d'herbes au profit du Trésor; le produit de ces ventes pour l'année 1878 a été de 295 575 francs.

3° Une superficie de 2 077 hectares est en voie de formation.

Il est aujourd'hui certain que les prairies d'alluvion sont d'excellente qualité et que leur valeur réelle doit être portée à 4 000 francs l'hectare : la valeur des 2 613 hectares de terrain remis aux riverains est donc de 10 452 000 francs; celle des 3 710 hectares qui sont encore dans le domaine public est de 14 840 000 francs. Lorsque les alluvions en voie de formation seront définitivement constituées, le montant total des terrains créés par l'endiguement sera de 33 600 000 francs. Enfin, il importe de noter que ces calculs n'embrassent que les terrains en amont de l'extrémité actuelle des digues, et que l'influence des travaux s'étend bien au delà dans la baie; la stabilité du chenal a donné

naissance à de vastes prairies dont la propriété entière est revendiquée par l'État à titre de lais de mer.

Tel est l'ensemble des résultats obtenus.

Les ingénieurs en chef qui ont dirigé les travaux pendant la période de construction, c'est-à-dire de 1848 à 1867, sont MM. Doyat, Beaulieu, Emmery et Du Boulet; et les ingénieurs ordinaires, MM. Partiot et Godot. La surveillance a été confiée principalement à M. le conducteur Sadlucki.

Depuis 1867, le service de la Seine maritime a été dirigé successivement par MM. J. Lemaître, Bellot et Chanson, ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées, et MM. Alard, Juncker et Cartault, ingénieurs ordinaires.

QUATRIÈME SECTION.

TRAVAUX MARITIMES.

XI

PORT DE MARSEILLE.

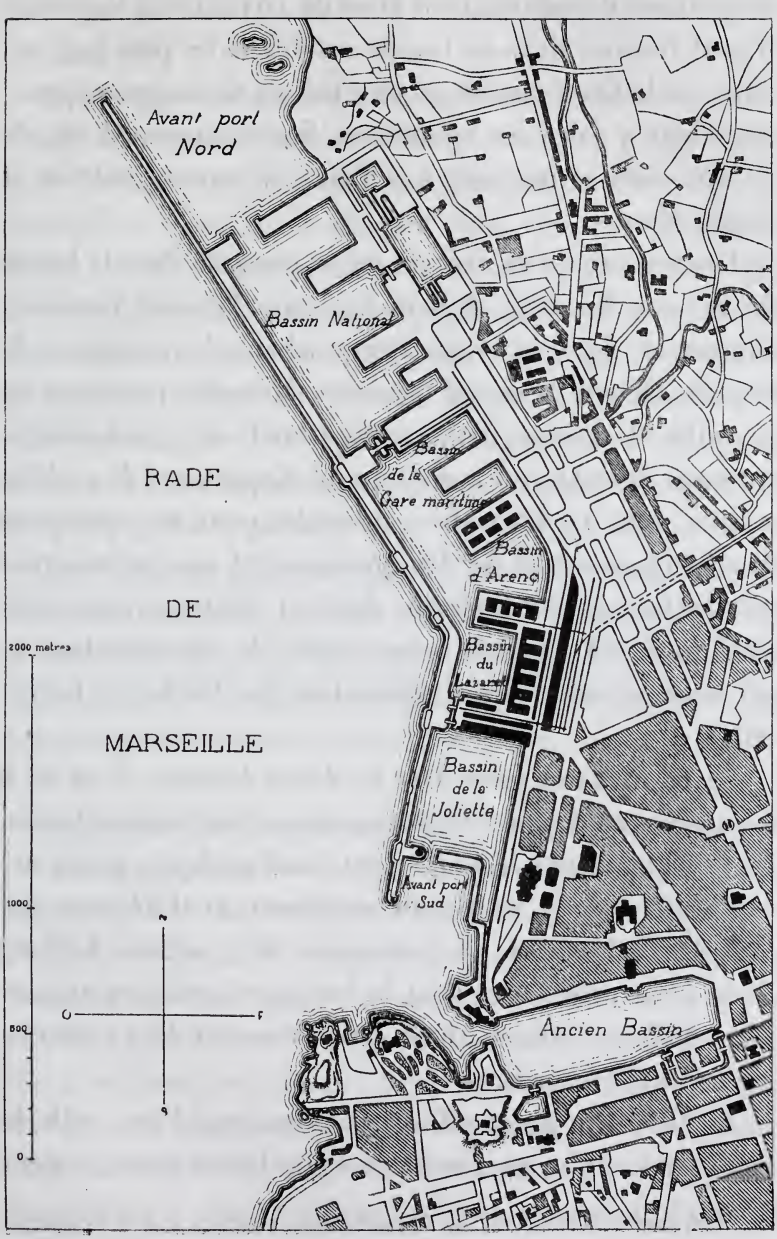
I. EXTENSION DES BASSINS.
II. INSTRUMENTS DE RADOUB.
III. PONT-LEVIS OU TOURNANT À VOLONTÉ.

Un tableau. Vue à vol d'oiseau du port et de la ville.

I

EXTENSION DES BASSINS. — INDICATIONS GÉNÉRALES.

Le port de Marseille, qui ne possédait en 1844 que son vieux port naturel d'une surface de 29 hectares et de 2 700 mètres courants de quai, comprend aujourd'hui une série de bassins extérieurs, tous conquis sur la mer et présentant ensemble une surface d'eau parfaitement abritée de 136 hectares, un développement de quais de 12 600 mètres, dont 8 500 mètres utilisables pour les opérations de débarquement et d'embarquement, de vastes entrepôts groupés autour des bassins et pouvant contenir 130 000 tonnes de marchandises, des emplacements autour des mêmes bassins pour augmenter l'importance de ces entrepôts, et


Avant port
Nord
Bassin National
Bassin
de la
Gare maritime
Bassin
d'Arenc
Bassin
du
Lazaret
RADE
DE
MARSEILLE
Bassin
de la
Joliette
Avant port
Sud
Ancien Bassin
2000 mètres
1000
500
0
O
E
N
S

cinq formes de radoub, dont l'une de 141^{m},50 de longueur. Il peut recevoir dans de bonnes conditions les plus forts navires, et le *Great Eastern* de 200 mètres de longueur pourrait venir y faire ses opérations. Son mouvement est de 20 000 navires jaugeant 5 millions de tonnes, entrées et sorties réunies.

Les travaux qu'on exécute en ce moment dans le bassin de la Gare Maritime et dans le bassin National viendront augmenter, dans un avenir très prochain, les ressources de ce port. Quand ils seront terminés, Marseille possédera un ensemble de bassins d'une surface totale de 140 hectares, entourés de quais qui auront un développement de 17 kilomètres, dont 13 kilomètres utilisables pour les opérations d'embarquement et de débarquement et qui présenteront une surface de 64 hectares, dont 21 hectares pour voies publiques, 23 hectares pour dépôt de marchandises et 20 hectares affectés à l'exploitation des Docks et Entrepôts[1].

Le tirant d'eau varie dans les divers bassins : il est de 6 à 7 mètres au-dessous des basses mers dans l'ancien bassin. Dans les nouveaux bassins, il est, sauf quelques points exceptionnels, de 7 mètres au minimum, et il dépasse, sur plus de 50 hectares, la profondeur de 9 mètres. Le long de la digue extérieure, dont la longueur totale est aujourd'hui de 3070 mètres, il est successivement de 11 mètres, 15 mètres et 20 mètres.

Il existe trois passes offrant, comme tirant d'eau : celle du vieux port, 7^{m},50 au-dessous des plus basses mers; la passe

[1] Les Docks et Entrepôts de Marseille sont concédés à une Compagnie pour un laps de temps de 99 ans, à dater du 1er janvier 1864.

Sud des nouveaux bassins, 9 mètres; et la passe Nord, 15 mètres.

L'idée qui a présidé à l'élaboration des projets des bassins extérieurs consiste dans la création le long du rivage d'une série de bassins séparés les uns des autres par des môles intérieurs ou *traverses*, enracinés à terre et couverts, vers le large, par une digue parallèle à la côte, laissant entre elle et les têtes des môles un chenal permettant une communication commode entre tous ces bassins. Ce système permet de proportionner toujours l'étendue du port aux besoins croissants du commerce, en ajoutant successivement de nouveaux môles à la suite de ceux qui existent, et en les couvrant par un prolongement correspondant de la digue extérieure.

Les dépenses faites au port de Marseille, non compris celles des entrepôts, s'élèvent, depuis 1844, époque où l'on a commencé les nouveaux bassins, à la somme de 50 millions; elles s'élèveront à 70 millions après l'achèvement des travaux actuellement en cours d'exécution.

Système de construction. — Digue extérieure. — La digue extérieure du port de Marseille est exécutée au moyen de blocs naturels et artificiels.

Plusieurs grands ouvrages de même nature existaient au moment où cette digue fut projetée : c'était la digue de Cherbourg, en France, celle de Plymouth, en Angleterre; d'autres étaient en pleine voie d'exécution : c'était la digue d'Alger, le break-water de la Delaware, aux États-Unis; enfin, une digue d'une grande importance, celle d'Holyhead, en Angleterre, était étudiée à peu près en même temps que celle de Marseille.

Une idée principale paraît avoir guidé les auteurs des grandes digues de Cherbourg, Plymouth, Holyhead, la Delaware : c'est celle d'employer simultanément tous les produits des carrières, en laissant à la mer le soin de former le talus sur lequel ils pouvaient tenir.

A côté de cette idée principale, on en voit naître une autre, c'est celle de réserver de gros matériaux pour recouvrir le talus extérieur de la masse formant le corps de la jetée : c'est ainsi qu'à Cherbourg on dispose sur ce talus une couche de gros blocs de $1^{m},25$ d'épaisseur en moyenne, que l'on descend jusqu'à environ 5 mètres au-dessous des plus basses mers, limite extrême, dans cette localité, de l'action puissante des vagues. Toutefois, ces blocs ne semblent pas présenter toute la sécurité désirable dans les parties les plus exposées de la digue et dans celles qu'il importe de préserver de toute avarie; on les recouvre à leur tour de blocs artificiels de 20 mètres cubes.

C'est ainsi qu'à Plymouth le talus extérieur est perreyé au moyen de blocs de $0^{m},80$ d'épaisseur, ayant $1^{m},20$ de long sur 1 mètre de large, dont les joints sont garnis avec du ciment Parker.

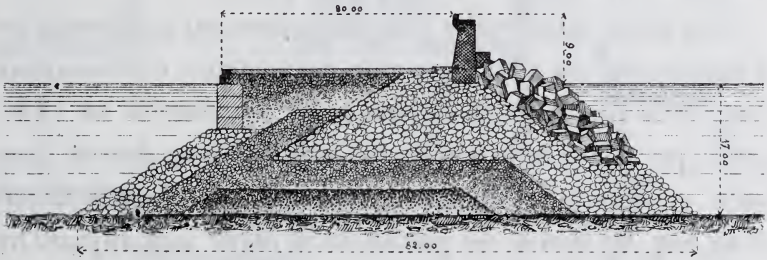
A la Delaware, on emploie, pour la défense des talus, des blocs de 4000 à 5000 kilogrammes rangés régulièrement et placés en boutisses.

Des dispositions analogues sont suivies à Holyhead.

La digue d'Alger est projetée dans un tout autre système. L'auteur s'est imposé l'obligation de n'employer que des blocs d'une dimension telle qu'ils ne pussent, dans aucun cas, être remués par les vagues, ce qu'il a jugé possible, puisque l'action des vagues est proportionnelle à la surface

choquée, tandis que la résistance du bloc croît comme son cube. Il a, par suite, exécuté cette digue exclusivement au moyen de blocs artificiels d'abord de 10^{mc} et ensuite de 15^{mc}.

L'expérience a démontré que, tandis que dans le système des digues de Cherbourg, Plymouth, Holyhead, Delaware, le talus extérieur variait, suivant la situation de l'ouvrage, entre 5 et 10 pour 1 dans la zone d'action de la mer, zone qui se faisait sentir jusqu'à environ 5 mètres au-dessous des plus basses mers, le talus de la digue d'Alger se tenait sous une inclinaison d'environ $1\frac{1}{4}$ pour 1.



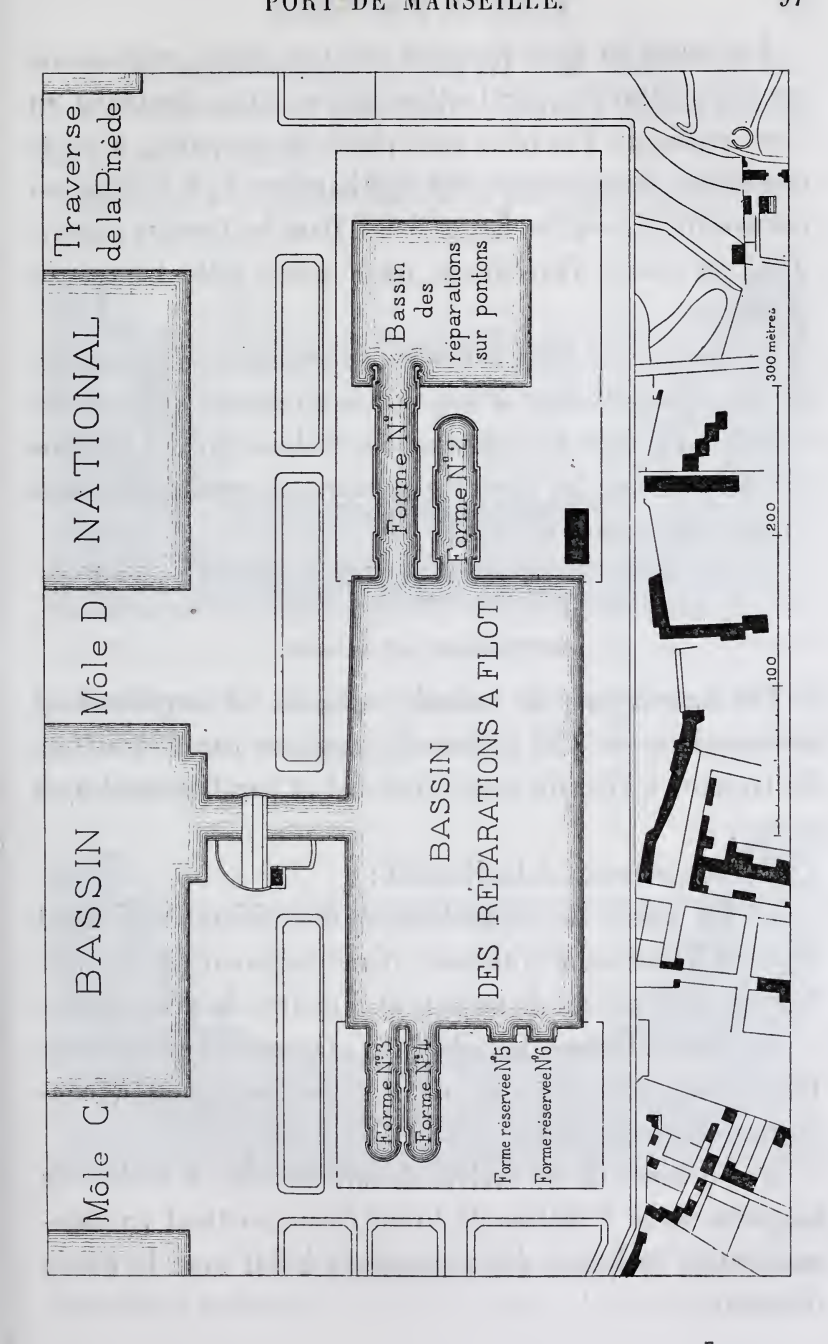
La digue de Marseille a été construite en s'appuyant sur la double expérience de Cherbourg et d'Alger. D'une part, on a pris à la digue d'Alger ses grands blocs artificiels pour les opposer directement à l'action puissante des lames; d'autre part, on a pris à la digue de Cherbourg ses blocs naturels de toutes dimensions, c'est-à-dire tous les produits des carrières, pour en faire le corps de la digue. Les premiers ont servi de revêtement aux seconds, et l'emploi des uns et des autres s'est fait simultanément, de manière à ne pas laisser les blocs naturels exposés aux puissants effets des lames. Cette action devenant assez faible à 5 mètres au-

dessous des basses mers, on a fini par limiter à 6 mètres au-dessous de ce niveau l'emploi des blocs artificiels.

Dans un double but de solidité et d'économie, au lieu d'employer, comme dans les digues déjà citées, les produits des carrières tels que l'exploitation les fournit, en mélangeant les gros et les petits matériaux, dans la digue de Marseille on a fait occuper aux blocs naturels différentes positions suivant leurs dimensions. Au point de vue économique, les petits matériaux n'ont pas été mélangés avec les gros, afin de conserver le plus de vide possible. Au point de vue de la solidité, on a disposé les gros blocs de manière à leur faire envelopper les petits.

Ces idées rationnelles ont été pleinement confirmées par l'expérience; en effet, la partie de la digue extérieure qui couvre le bassin de la Joliette a été commencée en 1845; celle qui abrite le bassin de la Gare Maritime date de vingt ans, et enfin celle du bassin National est terminée depuis cinq ans. Or toutes ces parties de la digue sont aujourd'hui en bon état de conservation. Si donc, il y a trente-six ans, lors de la présentation du système, on pouvait dire qu'il fallait être réservé dans l'appréciation de son efficacité, qu'il fallait laisser au temps le soin de prononcer sur sa valeur, il ne saurait plus en être de même aujourd'hui : le temps a prononcé, il a établi la bonté du système dont l'emploi doit nécessairement se généraliser par suite des économies notables qu'il réalise.

Môles intérieurs. — Les môles intérieurs sont constitués au moyen de murs de quai, qui en forment le pourtour, et de remblais ordinaires apportés dans l'enceinte ainsi préparée.


Traverse de la Pinède
NATIONAL
Môle D
BASSIN
Môle C
Bassin des réparations sur pontons
Forme N° 1
Forme N° 2
BASSIN DES RÉPARATIONS A FLOT
Forme N° 3
Forme N° 4
Forme réservée N° 5
Forme réservée N° 6
300 mètres
200
100

Les murs de quai reposent sur une digue sous-marine en blocs naturels, par l'intermédiaire d'une fondation en blocs artificiels. Ces blocs sont placés en parpaing, à joints contrariés, sans mortier, sur une hauteur de 6 mètres au-dessous du niveau des basses mers. Dans les travaux aujourd'hui en cours d'exécution, on a porté cette hauteur à 7 mètres.

Le système de blocs artificiels superposés, sans mortier, se prête parfaitement à tous les mouvements qui peuvent se présenter dans les constructions établies sur des terrains mobiles, comme les digues sous-marines, quand elles sont d'une construction récente.

II

INSTRUMENTS DE RADOUB.

Les instruments de radoub occupent un emplacement rectangulaire de 745 mètres de longueur sur 280 mètres de largeur, à l'Est du bassin National et parallèlement à ce bassin.

Ils comprennent actuellement :

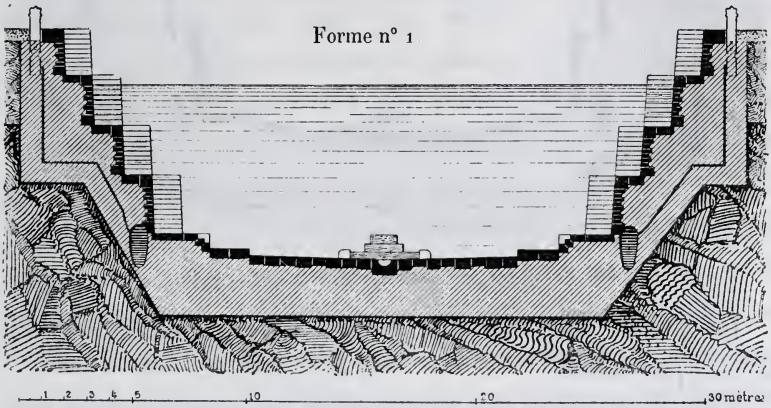
1° Un bassin de réparations à flot, faisant également fonction de bassin d'évitement, d'une longueur de 360 mètres sur 160 mètres de largeur et 8 mètres de tirant d'eau ;

2° Quatre formes de radoub en maçonnerie entièrement terminées, et les têtes de deux nouvelles formes à construire ultérieurement;

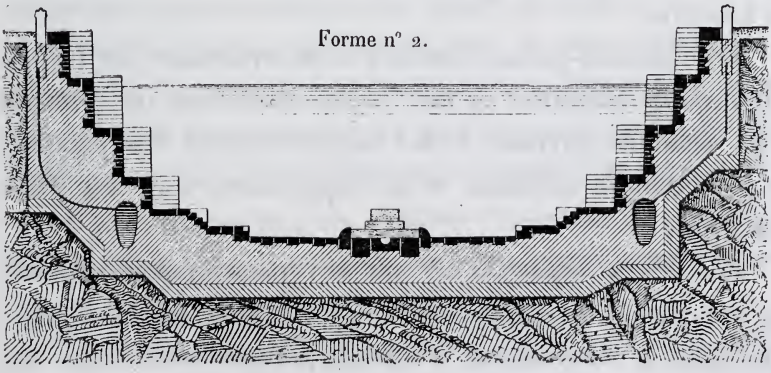
3° Un canal de 28 mètres de largeur, de 92 mètres de longueur et de 8 mètres de tirant d'eau, mettant en communication le bassin des réparations à flot avec le bassin National;

4° Les emplacements nécessaires pour établir des ateliers de réparations et pour pouvoir porter à onze le nombre des formes de radoub.

Les formes exécutées jusqu'à ce jour offrent :

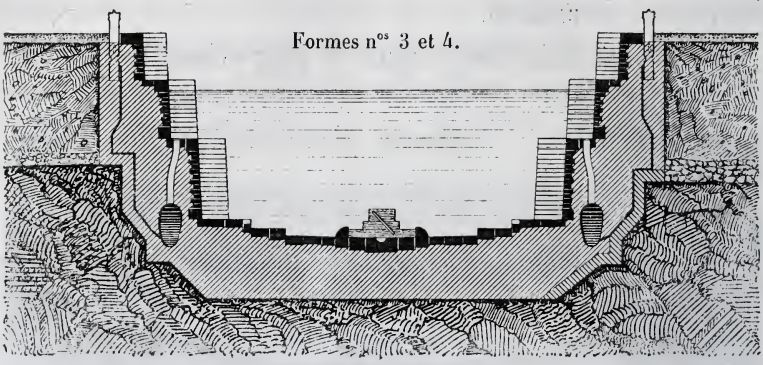


La forme n° 1, la plus grande, une longueur totale de de 141^{m},50, et un tirant d'eau de 7 mètres au-dessous des basses mers;



La forme n° 2, une longueur de 110 mètres et un tirant d'eau de 6 mètres;

Les formes nos 3 et 4, une longueur de 90 mètres et un tirant d'eau de 6 mètres.



La pente longitudinale de ces diverses formes est de $0^{m},01$ par mètre.

Tous les travaux des instruments de radoub ont été exécutés à sec, à l'abri d'un batardeau en béton de 1 218 mètres de longueur, établi, après un dragage préalable, sur le rocher ou sur l'argile dure, par des fonds variant entre 0 et 11 mètres.

Les bateaux-portes destinés à la fermeture des formes de radoub consistent en une coque étanche en fer, pouvant être échouée ou mise à flot sans le secours des pompes, par la simple addition ou la suppression d'un lest d'eau amovible.

Les divers appareils servant à l'épuisement des formes se composent de quatre machines à vapeur indépendantes, donnant le mouvement à quatre pompes centrifuges capables d'élever ensemble, par heure, 10 000^{mc} d'eau à $4^{m},50$ de hauteur.

Cette puissance, supérieure aux besoins actuels, a été

donnée en prévision de l'augmentation du nombre des formes, qui, ainsi qu'il a été dit précédemment, peut être porté à onze.

La passe d'entrée des instruments de radoub, de 28 mètres de largeur, est franchie par un pont tournant en fer d'une seule travée, ayant 62 mètres de longueur sur $15^{m},94$ de largeur et donnant passage à une voie ferrée, à une voie charretière et à une passerelle extérieure pour les piétons. Ce pont mobile est un des plus considérables qui aient été construits.

Le tablier mobile, dont le poids atteint 700 tonnes, effectue sa rotation sur deux galets de culasse et sur un pivot central soulevé par de l'eau comprimée à 270 atmosphères.

En service, le pont s'appuie : à l'extrémité de la volée, sur trois rouleaux en fer forgé qui permettent sa dilatation; à l'extrémité de la culasse, sur trois cônes de calage qu'on manœuvre simultanément au moyen d'une barre qui les réunit; enfin, dans la partie centrale, sur un chevêtre posé lui-même sur des sommiers en pierre de taille.

L'ouverture du pont donne lieu à trois opérations : 1° décaler l'extrémité de la culasse; 2° soulever le pont au moyen de la presse jusqu'à ce que les appuis de l'extrémité de la volée soient complètement dégagés; 3° rotation du pont. Ces trois opérations exigent 2 minutes 58 secondes. La fermeture du pont comporte trois opérations inverses, qui durent 3 minutes 2 secondes.

Un seul homme suffit pour exécuter ces manœuvres, quelle que soit la violence du vent, et à Marseille cette violence est quelquefois assez grande pour que les navires soient forcés de retarder leur départ.

Ce pont repose sur une tour en maçonnerie de $9^m,50$ de diamètre, fondée sur l'argile dure, à une profondeur de $8^m,30$ au-dessous des basses mers.

Les instruments de radoub ont comporté une dépense de 8 millions de francs.

III

PONT-LEVIS OU TOURNANT À VOLONTÉ [1].

Ce pont est établi sur la passe de la traverse de la Joliette, qui a $21^m,30$ de largeur. Il est disposé pour un double mouvement : l'un de rotation, comme dans la plupart des ponts mobiles, l'autre de relèvement de la volée. Cette disposition est justifiée par les considérations suivantes :

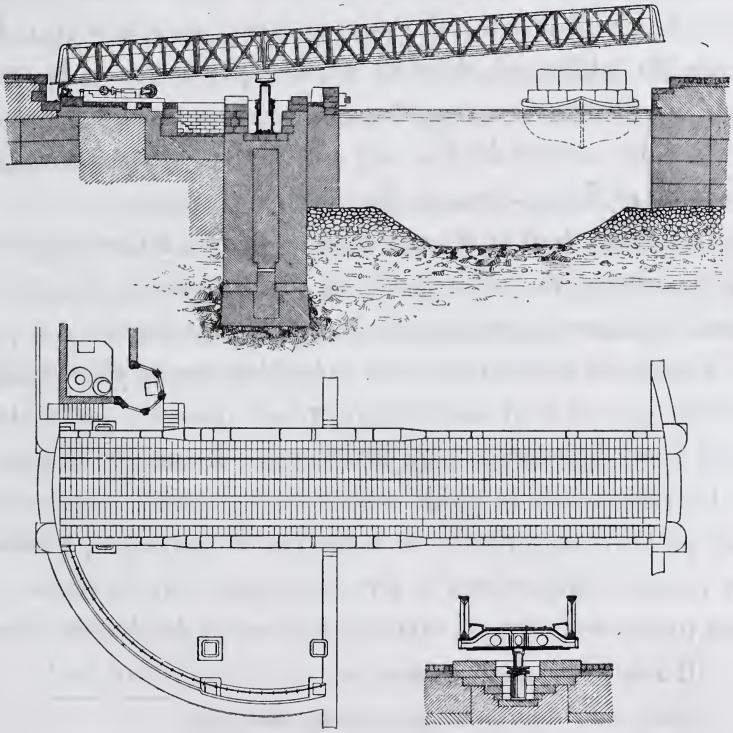
La circulation maritime journalière dans la passe de la traverse de la Joliette est d'environ dix bâtiments mâtés et quarante embarcations de servitude. Les bâtiments exigent pour leur passage la rotation complète du pont; mais les embarcations peuvent effectuer ce passage moyennant le simple relèvement partiel de la volée, ce qui s'accomplit plus rapidement que la rotation. Il en résulte que, grâce à la double disposition adoptée, on arrive à diminuer la durée des interruptions successives du passage sur le pont. La diminution totale de ces interruptions est, dans les conditions actuelles, de quatre heures pour une journée de dix heures de travail.

La longueur de la travée métallique du pont est de $41^m,09$; sa largeur est de 8 mètres, comprenant une voie charretière et deux trottoirs.

[1] Voir la description détaillée de ce pont dans la *Collection des dessins de l'École des Ponts et Chaussées* (t. II, p. 410).

Lorsque le pont est fermé, il repose sur des sommiers fixes placés en quatre points de sa longueur, sur les arêtes des deux quais de la passe, sous le chevêtre et sous l'avant-dernier montant de la culasse. Dans cette position, les galets de culasse sont séparés du rail circulaire sur lequel ils doivent tourner, par un jour de $0^m,03$.

Les manœuvres s'effectuent au moyen d'eau à 52 atmosphères de pression, prise dans les accumulateurs de la Compagnie des Docks.



Cette eau s'introduit dans une presse hydraulique verticale dont le piston, placé un peu en deçà du centre de gra-

vité du tablier par rapport à la culasse, aide à soulever le pont et en outre sert de pivot pour sa rotation.

Lorsque le piston monte, le pont soulevé tourne autour de l'horizontale passant par l'appui voisin des galets de culasse, jusqu'à ce que ceux-ci soient descendus assez pour porter sur le rail; à partir de ce moment, c'est le nouvel appui qui forme la charnière horizontale du tablier, et celui-ci se détache des sommiers voisins comme il s'était précédemment détaché des sommiers plus éloignés.

Pour la rotation, la montée du pivot est arrêtée à $0^m,20$; pour le grand levage, elle peut s'élever jusqu'à $0^m,90$. La pente du tablier est alors de $0^m,068$ par mètre et la hauteur libre entre le niveau des eaux moyennes et le dessous de la volée atteint $4^m,60$ vers son extrémité, tandis qu'on n'a que $1^m,80$ au-dessous du pont en service.

Le piston, dont le diamètre est de $0^m,85$, a une longueur de 2 mètres, de façon qu'il est encore engagé de $1^m,10$ dans la presse au moment de la montée extrême.

Toutes les manœuvres sont exécutées avec la plus grande facilité par un seul mécanicien, placé dans un poste attenant à son logement, d'où il découvre le pont et la passe.

Ce pont, dont le poids atteint 300 tonnes, repose sur une pile en maçonnerie de 6 mètres de diamètre, fondée, au moyen d'un caisson à air comprimé, sur le rocher, à une profondeur de 14 mètres au-dessous des basses mers.

Il a exigé une dépense totale de.....	316,000f
Dont pour la travée proprement dite, non compris les maçonneries aux abords.....	250,000
Pour la pile de fondation.....	66,000
TOTAL PAREIL.....	316,000

Les grands travaux du port de Marseille datent principalement de 1844. Depuis cette époque jusqu'en 1874, ils ont été successivement dirigés par MM. les ingénieurs en chef Toussaint, Bergis, Montet, de Montricher et Pascal. Depuis 1874, ils ont été dirigés par M. Bernard, ingénieur en chef, MM. André et Guérard, ingénieurs ordinaires des Ponts et Chaussées, et M. Sébillote, conducteur principal faisant fonctions d'ingénieur ordinaire.

Parmi les conducteurs qui ont secondé les ingénieurs, on doit citer : MM. Rullier, Lévens, Coignard, Sébillote, Pissère, Bénézeth et Bompard.

Les entrepreneurs ont été MM. Dussaud frères, Barthelon, Rabattu, Vaccaro, Michel (Désiré), Dupuy et Magnac, Lobin et Ferchat.

Les bateaux-portes, les machines d'épuisement et le pont tournant ont été projetés par M. Barret, ingénieur de la Compagnie des Docks, et exécutés par la Société nouvelle des forges et chantiers de la Méditerranée, sous la direction de cet ingénieur.

XII

BASSIN A FLOT

DU PORT DE BORDEAUX.

(DÉPARTEMENT DE LA GIRONDE.)

FORME DE RADOUB ET PORTE D'ÉCLUSE.

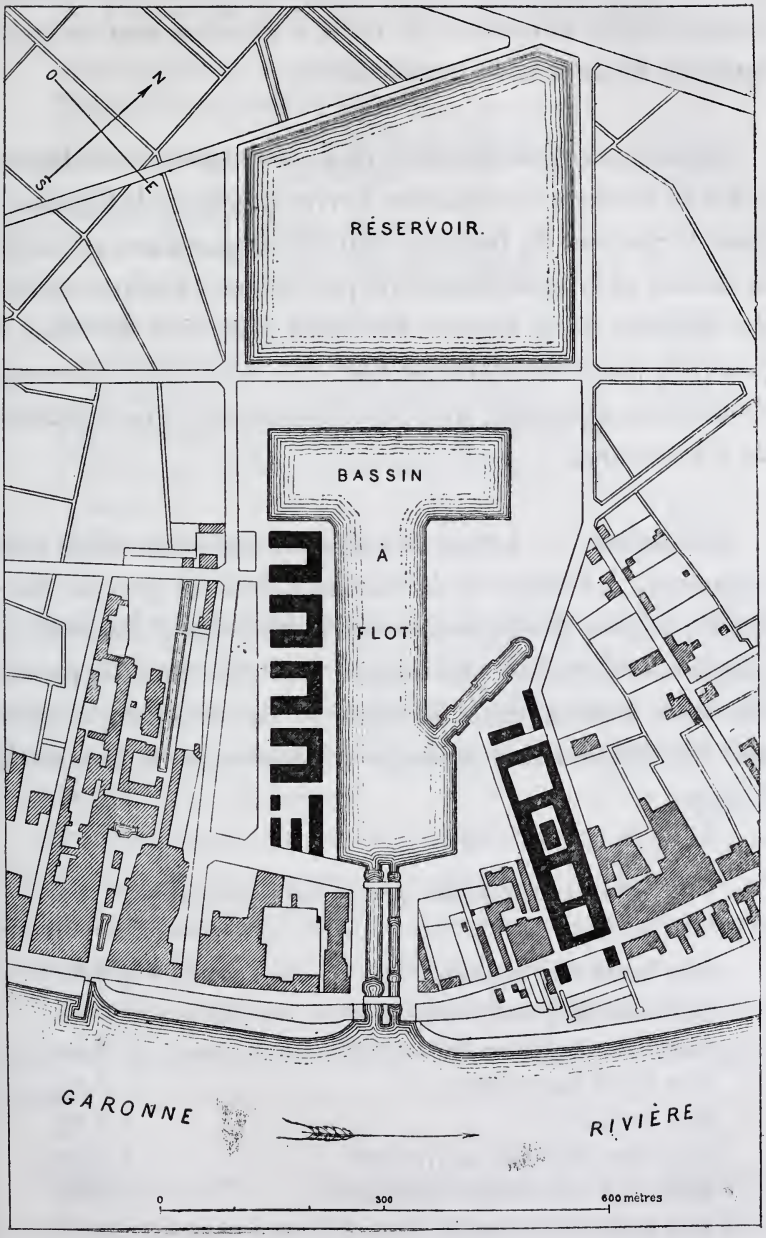
Un tableau. Vue à vol d'oiseau du port et de la ville.

La création du bassin à flot du port de Bordeaux a été décidée en 1867, en vue d'agrandir ce port, dont la capacité naturelle était devenue insuffisante pour desservir le mouvement maritime et commercial qui s'y développe.

Les premiers travaux projetés comprenaient, outre le bassin proprement dit, le chenal et les écluses qui doivent le mettre en communication avec la Garonne, et un réservoir destiné à emmagasiner l'eau nécessaire pour le service de l'alimentation.

Cet ensemble d'ouvrages a été complété par une forme de radoub dont la construction a été résolue en 1873.

L'exécution des travaux, commencée en 1869, fut interrompue pendant la guerre de 1870-1871; elle a été reprise en 1872 et touche aujourd'hui à son achèvement. Le bassin à flot a été livré au commerce le 20 octobre 1879;


O
N
S
E
RÉSERVOIR.
BASSIN
À
FLOT
GARONNE
RIVIÈRE
0
300
600 mètres

toutefois, les installations accessoires ne sont pas encore complètement terminées; il reste à exécuter une certaine quantité de travaux de terrassement.

Description sommaire des ouvrages. — Le bassin à flot de Bordeaux est situé sur la rive gauche de la Garonne, dans le quartier de Bacalan, entre le magasin aux vivres de la marine et la manufacture de porcelaines, à 2 500 mètres de distance de la Bourse. Il s'étend dans une direction à peu près perpendiculaire au fleuve, à 750 mètres du quai de Bacalan, et occupe, avec ses dépendances, une superficie de 52 hectares.

Altitudes. — Les cotes d'altitude qui vont suivre sont rapportées à l'étiage de la Garonne dans le port de Bordeaux; le plan de comparaison répond au zéro de l'échelle placée à la deuxième pile de rive droite du pont de pierre. Les cotes sont affectées du signe + ou du signe —, selon que les altitudes sont mesurées au-dessus ou au-dessous de l'étiage.

1° COTES DES MARÉES DANS LE PORT DE BORDEAUX.

Plus haute mer connue	+ 6,45
Haute mer moyenne de vive eau	+ 5,13
Haute mer moyenne de morte eau	+ 3,92
Plus faible mer connue	+ 3,19
Mer moyenne	+ 2,79
Basse mer moyenne de vive eau	+ 0,97
Basse mer moyenne de morte eau	+ 0,89
Plus basse mer connue	— 0,11

2° COTES DES PRINCIPAUX OUVRAGES DU BASSIN À FLOT.

Busc des écluses		— 3,00
Heurtoir de la forme de radoub		— 3,00
Plafond du bassin	aux abords des écluses	— 3,50
	en amont	— 3,00
Fond de la fouille de fondation des radiers	des écluses	— 6,50
	de la forme de radoub	— 6,70
Banc de sable sur lequel reposent les fondations	des écluses	— 6,30
	des murs de quai du bassin	— 5,94
	de la forme de radoub	— 6,50
Couronnement des bajoyers des écluses, de la forme de radoub et des murs de quai du bassin		+ 7,00
Milieu des tabliers des ponts tournants		+ 7,65

Bassin proprement dit. — Le bassin a 120 mètres de largeur normale et une longueur de 572 mètres, comptée sur l'axe. A son extrémité Ouest, il fait retour en forme de T sur 90 mètres à droite et 115 mètres à gauche, avec une largeur de 120 mètres.

Aux abords des écluses, du côté gauche, est disposée, en reculement de 40 mètres, une darse de 140 mètres de longueur, destinée à fournir un accostage aux grands paquebots et à faciliter les évolutions des navires.

Le bassin présente une surface d'eau de 10 hectares, entourée de murs de quai de 1 800 mètres de développement.

Murs de quai. — Les murs de quai, dont le couronnement est à la cote 7 mètres, ont une hauteur de 10 mètres

ou 10^{m},50, selon la profondeur du plafond, et une épaisseur moyenne égale aux 40/100 de la hauteur. Le profil présente, du côté du bassin, la forme d'une courbe parabolique concave dont les éléments inférieurs ont une inclinaison assez prononcée pour embrasser le gabarit d'une carène de navire; les éléments supérieurs se raccordent tangentiellement au sommet du mur et présentent un fruit de 1/20.

Des contreforts espacés de 50 en 50 mètres sont établis de manière à subdiviser l'action de la poussée.

On a commencé par fonder sur pilotis; ce mode de construction a été appliqué à la partie du mur qui soutient la rive droite du bassin, sur 600 mètres de développement en amont des écluses. Les autres parties ont été établies sur une suite continue de voûtes en plein cintre de 8 mètres d'ouverture, espacées de 12 mètres d'axe en axe, qui reposent elles-mêmes sur des blocs de 6 mètres de longueur et 5 mètres de largeur, enfoncés dans le sol.

Le vide des voûtes est fermé par des massifs de maçonnerie à pierres sèches soutenant les terres en arrière du mur.

Quais et terre-pleins. — Un quai de chargement et de déchargement de 18 mètres de largeur du côté Sud et de 12 mètres à l'Ouest et au Nord régnera sur tout le pourtour du bassin. En arrière s'étendent des emplacements affectés aux dépôts de marchandises et desservis par une ceinture de voies de communication de 20 mètres de largeur, qui les rattachent au port, à la ville et aux gares des chemins de fer.

L'ensemble des terrains destinés à recevoir les dépôts de

marchandises présente une surface de 12 hectares 50 ares, dans laquelle est compris un emplacement de 5 hectares 50 ares de superficie, réservé, aux termes de la loi du 20 mai 1868, à la chambre de commerce de Bordeaux, qui est autorisée à y établir des magasins-docks. La construction de ces magasins a été commencée au mois de juillet 1877.

Réservoir d'alimentation. — Au delà du quai Ouest du bassin, est disposé un réservoir de 16 hectares 1/2 de superficie, communiquant avec le bassin au moyen d'un aqueduc muni de vannes et de poutrelles.

L'alimentation ne fonctionne pas encore d'une manière régulière. Lorsque les travaux seront terminés, le niveau de la retenue du bassin sera maintenu à 5 mètres au-dessus de l'étiage. On a commencé à alimenter le bassin en y introduisant directement les eaux de la rivière; mais l'introduction des vases par les courants rendrait l'entretien très coûteux et on prend les dispositions nécessaires pour alimenter le bassin par des eaux claires provenant d'une dérivation spéciale.

Puits artésiens. — On a songé à augmenter le débit des eaux d'alimentation par des eaux artésiennes. Le succès de nombreux forages exécutés dans le département de la Gironde a encouragé l'administration dans cette voie; un puits artésien, entrepris à titre d'essai, a été foré jusqu'à une profondeur de 220 mètres. Son débit est évalué à 6 000^{mc} environ par jour. Deux autres puits seront bientôt commencés.

Écluses. — Deux écluses à sas, parallèles l'une à l'autre et séparées par un bajoyer intermédiaire de 10 mètres d'épaisseur, mettent le bassin en communication avec la Garonne. La plus grande, destinée aux grands paquebots à roues, a 22 mètres de largeur et 152 mètres de longueur entre les portes. La seconde a 14 mètres de largeur et 136 mètres de longueur : elle est affectée aux vapeurs à hélice et aux navires à voiles; une paire de portes intermédiaire la divise en deux sas : l'un de 60 mètres, l'autre de 76 mètres.

Dans les maçonneries des bajoyers sont logés des aqueducs munis de vannes pour le remplissage et la vidange des écluses.

La surface supérieure des radiers est disposée en voûte renversée, de manière à arc-bouter le pied des bajoyers et à offrir plus de résistance à la sous-pression des eaux.

De chaque côté des écluses règnent des francs-bords de 25 mètres de largeur, bordés de trottoirs.

Ponts tournants. — Deux ponts tournants existent sur chaque écluse, un à chaque extrémité; lorsque l'un d'eux est ouvert pour laisser passer un navire, l'autre est fermé pour livrer passage à la circulation. La largeur de ces ponts est de 8 mètres. Chacun d'eux repose sur un pivot placé dans l'axe du bajoyer intermédiaire, et prend 1 mètre d'appui sur les bajoyers latéraux. Il présente ainsi, de part et d'autre de son pivot, deux portées : l'une de 28 mètres, passant sur la grande écluse; l'autre de 20 mètres, passant sur la petite écluse.

Leur charpente, en tôle d'acier, comprend deux poutres

longitudinales, forme double T, de 48 mètres de longueur et d'une hauteur variant de $2^m,35$ aux extrémités à $2^m,80$ au milieu.

Entre ces poutres sont établies trente-deux pièces de pont reliées par des longerons et contreventées.

Appareils de rotation. — Une cuve en maçonnerie ménagée dans le massif du bajoyer intermédiaire, au-dessous du pivot de chaque pont tournant, reçoit l'appareil de rotation. Cet appareil est disposé de la manière suivante : un tambour cylindrique, de 5 mètres de diamètre et de $2^m,275$ de hauteur, est fixé aux pièces de pont autour du pivot; deux couronnes horizontales de galets, placées entre les parois de la cuve en maçonnerie et le tambour, le maintiennent et le guident dans ses mouvements; le pivot, assujetti au pont au centre du tambour, est formé par une tige de fer forgé de $0^m,30$ de diamètre. Il s'appuie sur une crapaudine portée par le piston d'une presse hydraulique établie sur la maçonnerie du bajoyer intermédiaire et qui permet de soulever le pont pour le dégager de ses appuis et rendre ses volées mobiles. Le tambour est entouré d'une chaîne qui, selon qu'elle est tirée dans un sens ou dans l'autre, fait tourner le tambour et entraîne le pont dans le même mouvement, de manière soit à l'amener sur le bajoyer intermédiaire, soit à le placer en travers des écluses. Les deux bouts de la chaîne sont actionnés par des appareils à pression hydraulique. D'ailleurs, pour les cas d'accident, on a ménagé un mécanisme de secours composé d'une roue dentée fixée au pourtour de la cuve, et d'un pignon mû à bras, adapté au pont.

Portes d'écluses. — Le fonctionnement des écluses est assuré par sept paires de portes busquées en tôle, savoir :

Deux paires de portes d'èbe et une paire de portes de flot pour la grande écluse, trois paires de portes d'èbe et une paire de portes de flot pour la petite.

Quinze grandes vannes sont disposées dans les aqueducs des bajoyers latéraux et du bajoyer intermédiaire pour régler l'introduction des eaux du bassin ou de la Garonne dans les sas et leur évacuation.

Les mouvements des portes et des vannes, comme ceux des ponts, sont actionnés par des appareils à pression hydraulique.

L'appareil de manœuvre mérite d'appeler l'attention. Les deux vantaux sont mis en mouvement à l'aide d'un unique engin à pression hydraulique placé sur le bajoyer intermédiaire, et la force motrice est transmise d'une rive à l'autre au moyen d'une simple chaîne, tant pour ouvrir que pour fermer la porte.

Toutes les portes sont munies d'appareils semblables.

Chenal d'entrée en rivière. — Les écluses débouchent en rivière par un chenal évasé de 80 mètres de longueur en prolongement des écluses. Ce chenal présente une ouverture de 100 mètres à l'extrémité touchant les écluses et de 242 mètres à l'autre extrémité; il est bordé de cales inclinées au 1/5 se raccordant avec les rives du port.

Au pied de ces cales, et sur 75 mètres tant à l'amont qu'à l'aval de l'issue du chenal, sont disposées des esta-

cades en charpente destinées à faciliter les manœuvres d'entrée et de sortie des navires.

Forme de radoub. — Cette forme, capable de recevoir les plus grands paquebots transatlantiques, est située sur la rive gauche du bassin, à une distance d'environ 180 mètres des écluses. Sa construction a été commencée à la fin de 1874.

Sa longueur totale est de $154^{m},80$, comprenant 14 mètres pour la chambre d'entrée.

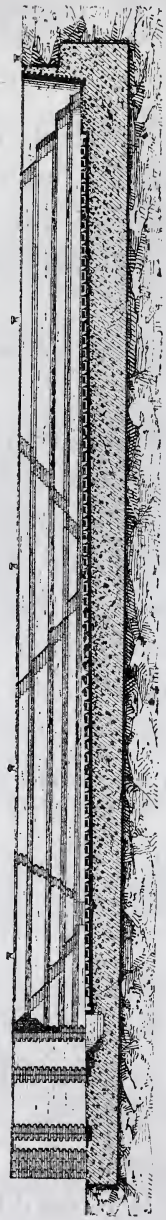
La chambre d'entrée a 22 mètres de largeur; ses parois sont verticales; elle présente deux enclaves pour bateaux-portes, dont les seuils sont établis au même niveau que les buscs des écluses, soit à 3 mètres en contre-bas de l'étiage.

Le périmètre des bajoyers de la forme est divisé en gradins par quatre étages de banquettes horizontales ayant $1^{m},10$ de largeur. Ces banquettes sont reliées entre elles par huit volées d'escaliers. Les deux bajoyers sont raccordés à l'extrémité amont de la forme par une partie demi-circulaire de $14^{m},45$ de rayon.

Le radier est établi, à l'extrémité aval, à 4 mètres en contre-bas de l'étiage, et se relève vers l'amont suivant une pente longitudinale de $0^{m},01$ par mètre.

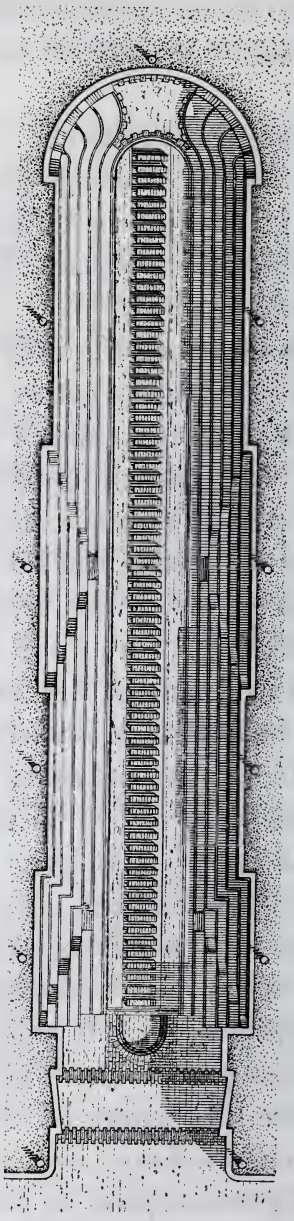
Les tins reposent sur une plate-forme en pierre de taille occupant le milieu du radier suivant l'axe. De part et d'autre de cette plate-forme, le profil transversal du radier s'abaisse suivant des pentes de $0^{m},01$ par mètre vers des rigoles régnant de chaque côté, au pied des bajoyers.

Un bateau-porte en tôle sert à fermer la forme du côté du bassin.



Ferme de radoub.

Coupe longitudinale.



Plan.

La vidange et le remplissage s'effectueront au moyen de trois aqueducs aboutissant à un puisard en maçonnerie dont le radier est à $5^{m},70$ en contre-bas de l'étiage.

L'un de ces aqueducs met le puisard en communication avec la forme, l'autre avec la Garonne, le troisième avec le bassin à flot.

Le débit de ces aqueducs est réglé par des vannes. Des pompes, mues par des machines à vapeur, seront prochainement installées dans le puisard pour l'épuisement de la forme.

Mode d'exécution des travaux. — L'ensemble des ouvrages est fondé par enfoncement de blocs évidés. Des circonstances locales ont d'abord nécessité l'application de ce procédé aux écluses.

Fondation des écluses. — Le terrain est constitué par une couche de vase argileuse qui recouvre, jusqu'à une profondeur de 12 à 14 mètres, un banc de sable et de gravier aquifères de 3 à 4 mètres d'épaisseur, reposant lui-même sur la molasse. Par des sondages, on a reconnu que les eaux souterraines s'écoulent vers la Garonne, en exerçant des sous-pressions considérables sur les terres.

Par suite du niveau assigné aux buscs des écluses, les maçonneries devaient porter en entier sur le banc de sable. On ne pouvait songer à ouvrir dans la vase molle des fouilles de 14 mètres, au fond desquelles on aurait rencontré la couche aquifère, et l'on s'est résolu à faire descendre par leur propre poids, jusqu'au gravier, une suite de blocs en maçonnerie pour former les bajoyers et les

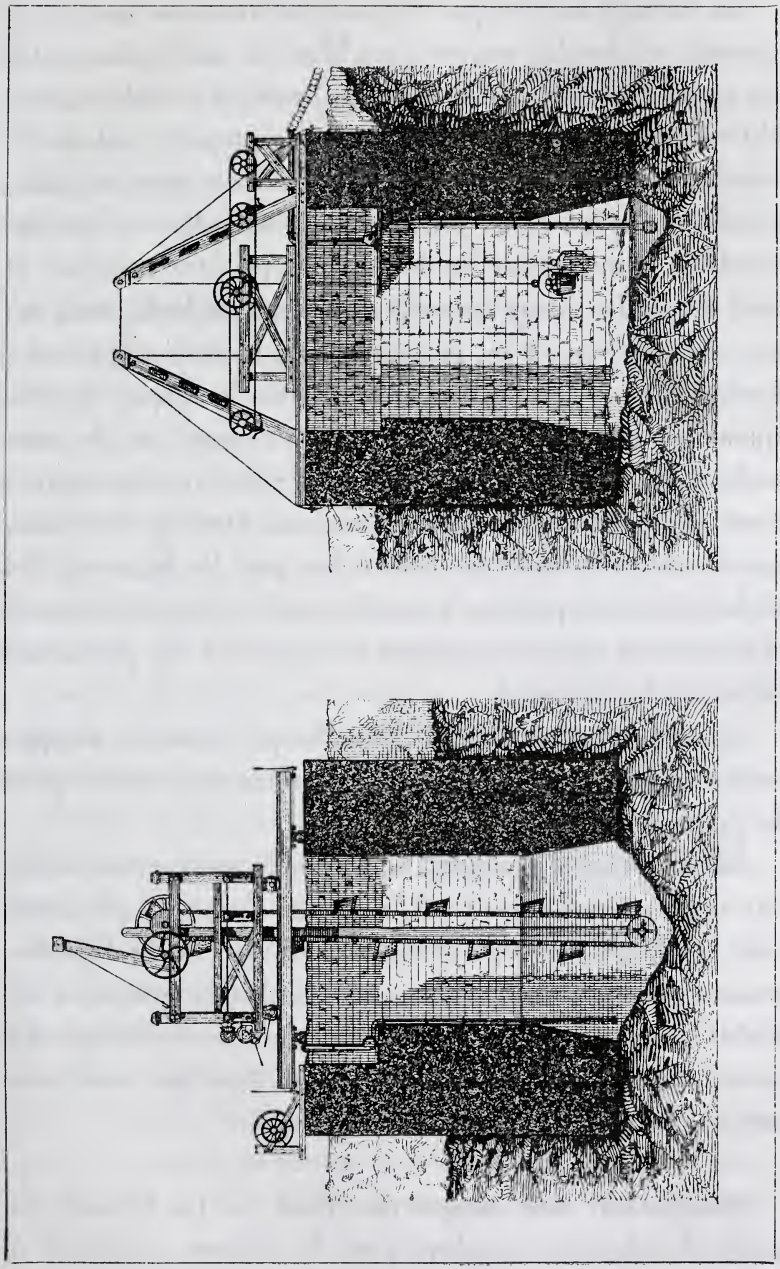
murs de garde. Ces blocs occupaient le périmètre d'un rectangle de 205 mètres sur 57.

On a donné à ces blocs une largeur uniforme de 6 mètres, des longueurs variant entre 16 et 35 mètres, et une hauteur de 9 mètres. Sur la moitié aval du bajoyer séparant les deux écluses, on a disposé en outre des blocs de 9 mètres de largeur, 15 mètres de longueur et 9 mètres de hauteur.

Tous ces blocs étaient espacés de $0^m,50$ les uns des autres. Ils étaient évidés de manière à présenter un ou plusieurs puits verticaux.

La maçonnerie d'un bloc n'était d'abord élevée que jusqu'à la moitié environ de sa hauteur définitive. Quand elle avait fait prise, on commençait à déblayer le terrain au fond du puits, et le bloc descendait jusqu'à ce que sa face supérieure affleurât au niveau du sol. On ajoutait ensuite, en une ou deux reprises, le reste de la maçonnerie, qu'on faisait descendre de la même manière.

Cette opération s'effectuait sans le secours d'aucune machine, tant que le déblai s'opérait à sec. Mais lorsque la nappe souterraine faisait irruption dans les puits (et cela se produisait quand il ne restait qu'environ 2 mètres d'épaisseur de terrain vaseux), on installait dans chaque puits une pompe centrifuge actionnée par une locomobile; cette dernière machine était en même temps utilisée pour la manœuvre des treuils qui remontaient les terres. Les déblais ont pu se continuer ainsi sans difficulté par des ouvriers travaillant au fond du puits; on arrêtait l'enfoncement, lorsque le bloc était engagé de $0^m,80$ dans le sable graveleux.



Ce fonçage ne s'est pas toujours fait avec une entière régularité et, le plus souvent, les blocs se sont inclinés plus ou moins dès le début de l'opération, malgré l'emploi d'étais. On est parvenu à les redresser pour la plupart, soit en dirigeant convenablement les déblais, soit en exerçant, indépendamment des étais, une contre-pression latérale par des remblais. Quelquefois les blocs n'ont pu être redressés et sont descendus jusqu'au sable en restant inclinés, mais on est alors parvenu à les ramener dans la verticale par des fouilles bien conduites. Ces irrégularités de fonçage s'expliquent par le défaut d'homogénéité du terrain, par des obstacles tels que des troncs d'arbres, et aussi par les excavations que produisaient les épuisements. Quoi qu'il en soit, on a remédié à tous ces accidents et tous les blocs ont été établis dans une position normale, sauf de légères déviations d'alignement qu'on a corrigées en exécutant les parements définitifs des bajoyers.

Après l'enfoncement des blocs, les puits ont été remplis en béton pour la partie sous l'eau, et en maçonnerie pour la partie supérieure.

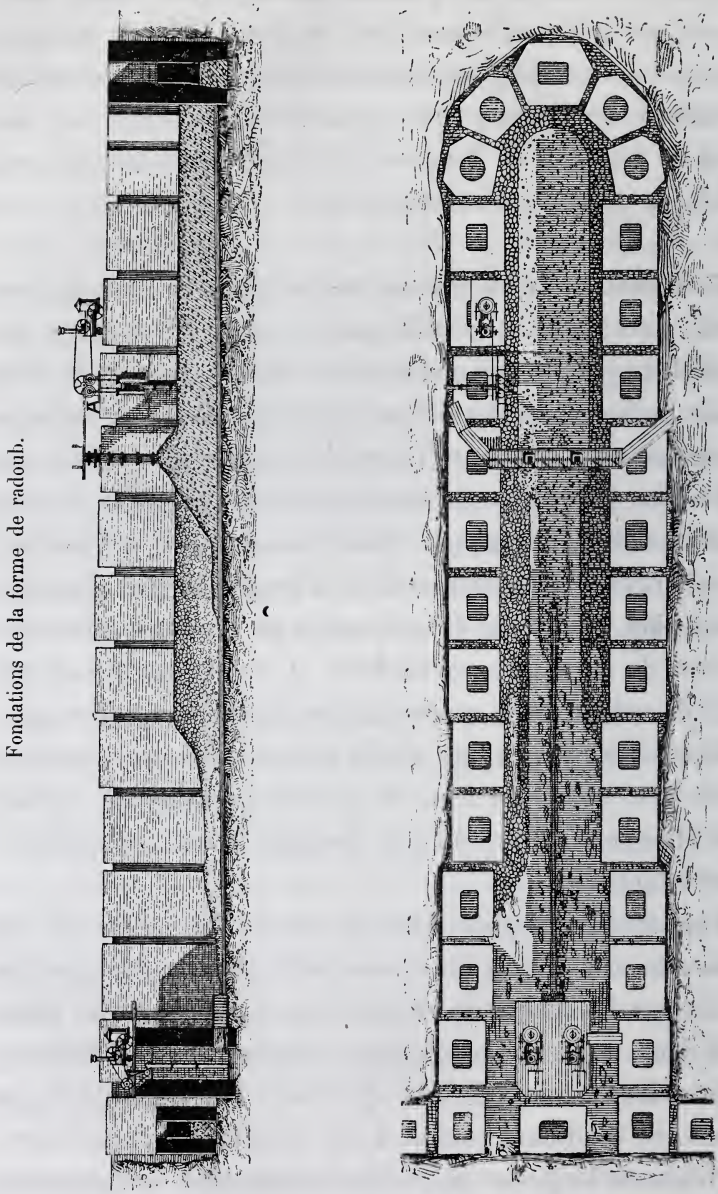
Les blocs ainsi échoués, on a comblé en maçonnerie les intervalles laissés entre eux, et, dans l'enceinte ainsi formée, les fouilles ont pu être descendues, à l'aide d'épuisements, jusqu'au niveau du gravier; le radier général a été établi à sec à 7 mètres environ au-dessous de l'étiage. La construction s'est ensuite poursuivie dans les conditions ordinaires.

Fondation des murs de quai. — La réussite du mode de fondation employé pour les écluses a conduit à

l'appliquer au mur de quai du bassin, qu'on avait commencé sur pilotis. Ce mur, sur les deux tiers de son parcours, a pour appui une suite de voûtes en plein cintre de 8 mètres d'ouverture, qui reposent elles-mêmes sur des blocs de 6 mètres de longueur et 5 mètres de largeur, enfoncés de 1 mètre dans le gravier.

Fondation de la forme de radoub. — Les épuisements énergiques nécessités par le mode de fonçage qui vient d'être décrit ont occasionné, dans le sous-sol de l'enceinte de fondation des écluses et des terrains environnants, des excavations d'où résultèrent des tassements parfois considérables. Ces accidents ont fait déverser les blocs de fondation pendant le fonçage. On a essayé, pour y remédier, de renoncer aux épuisements et d'employer une drague à l'extraction des terres. Ce moyen n'a pu réussir aux écluses, à cause de la nature particulière et du défaut d'homogénéité du sol; mais les circonstances étaient tout autres pour la forme de radoub : on s'était assuré, par des sondages préalables, que le terrain ne présenterait pas les mêmes difficultés, et l'extraction par dragage y fut avantageusement adoptée.

L'expérience acquise dans les travaux de fondation des écluses avait en outre fait reconnaître l'utilité d'augmenter l'épaisseur des blocs, de réduire leur longueur et de diminuer leur rapprochement, pour régulariser leur enfoncement et faciliter leur liaison ultérieure. On a profité de ces leçons, en modifiant comme il suit les dimensions des blocs : les blocs de la forme de radoub présentent une épaisseur de 8 mètres, au lieu de 6 mètres qu'ont ceux des écluses;



Fondations de la forme de radoub.

en longueur, ils mesurent au plus 11 mètres, tandis que quelques-uns de ceux des écluses avaient atteint 35 mètres; enfin, l'espace laissé entre eux est de 1 mètre au lieu de $0^m,50$ qui est l'écartement de ceux des écluses.

Sur trente-six blocs de fondation de la forme de radoub, vingt ont été foncés au moyen d'une drague à élingue verticale, et seize au moyen d'épuisements.

L'emploi de la drague a présenté, dans les travaux de fondation de la forme de radoub, de grands avantages sur celui des épuisements. Ainsi, il n'a fallu, en moyenne, que cent dix heures pour foncer avec la drague des blocs de mêmes dimensions que ceux dont le fonçage par épuisements exigeait un mois de travail.

Quant à la dépense, elle n'a été que de $7^f,35$ par mètre cube de déplacement à l'aide de la drague, tandis qu'elle s'était élevée à $11^f,95$ par mètre cube de déplacement à l'aide d'épuisements.

Nature et provenance des matériaux employés. — Pieux pour pilotis : pin gemmé des Landes.

Granit pour couronnements, chardonnets, buscs, angles d'enclaves : des carrières de Labère (Finistère).

Pierre de taille dure et moellons calcaires : des carrières de Saint-Macaire (Gironde).

Ciment à prise lente : de Portland (Angleterre).

Chaux hydraulique : du Theil (Ardèche).

Chaux hydraulique : de Saint-Astier (Dordogne).

Fers et aciers : des usines du Creusot.

Dépenses. — Les dépenses autorisées pour la con-

struction du bassin à flot de Bordeaux se répartissent de la manière suivante :

Acquisition de terrains	2 968 769f,55
Bassins, écluses et forme de radoub (terrassements et maçonnerie)	9 959 076,03
Ouvrages métalliques (portes d'écluses, vannes, ponts tournants, bateau-porte, bateau dévaseur, machine hydraulique)	1 624 621,71
Déblais, dragages et enrochements de l'entrée en rivière	387 436,42
Estacades en charpente de l'entrée en rivière	35 007,80
Pavages	711 781,66
Puits artésien	60 430,57
Bâtiments d'exploitation	83 433,44
Somme à valoir pour dépenses diverses	1 035 925,06
TOTAL	16 926 482,24

Sur cette somme il a été dépensé, jusqu'au 31 décembre 1879 :

Acquisition de terrains	2 968 769f,55
Travaux	13 524 084,06
TOTAL	16 492 853,61

Répartition par entreprise et situation des travaux. — Les travaux de construction du bassin, des écluses et de la forme de radoub forment un même lot d'entreprise, adjugé à M. BERNARD jeune. Ils sont à peu près terminés.

L'exécution des portes d'écluses, vannes, ponts tournants,

bateau-porte, bateau dévaseur et machinerie hydraulique, constitue une seconde entreprise, adjugée à MM. Schneider et Cie, du Creusot.

Ces ouvrages ont été achevés et posés vers la fin de l'année 1879.

L'entrée en rivière et les pavages font l'objet de deux entreprises distinctes; les adjudicataires sont : pour l'une, MM. Avril et Fréland, et pour l'autre, MM. Dufour et Couture. Ces travaux ont été également achevés vers la fin de l'année 1879.

Le bâtiment d'exploitation a fait l'objet d'une entreprise spéciale. M. Dalibon (Gustave) a été déclaré adjudicataire. Ce bâtiment a été terminé au mois d'octobre 1879.

L'avant-projet du bassin à flot de Bordeaux a été dressé par M. Joly de Boissel, comme ingénieur ordinaire, sous les ordres successivement de MM. Droëling et Pairier, alors ingénieurs en chef.

Les ingénieurs qui ont concouru à la rédaction des projets définitifs et à leur exécution sont : MM. Joly de Boissel, ingénieur en chef; de la Roche-Tolay, Regnauld et Boutan, ingénieurs ordinaires.

M. Fargue, ingénieur en chef, est chargé de la direction du service depuis le mois de novembre 1879 et préside à l'exécution des travaux de parachèvement.

Les conducteurs chargés de la préparation des projets et de la surveillance des chantiers ont été ou sont MM. Groult, Pochet, Pardiac, Bert, Potocki et Aché (Oreste).

XIII

PORT DE SAINT-NAZAIRE.

(DÉPARTEMENT DE LA LOIRE-INFÉRIEURE.)

I. DESCRIPTION GÉNÉRALE DU PORT.
II. BASSIN À FLOT DE PENHOUËT. — FONDATIONS DES MURS DE QUAI.
III. PORTES D'ÉCLUSES MÉTALLIQUES.

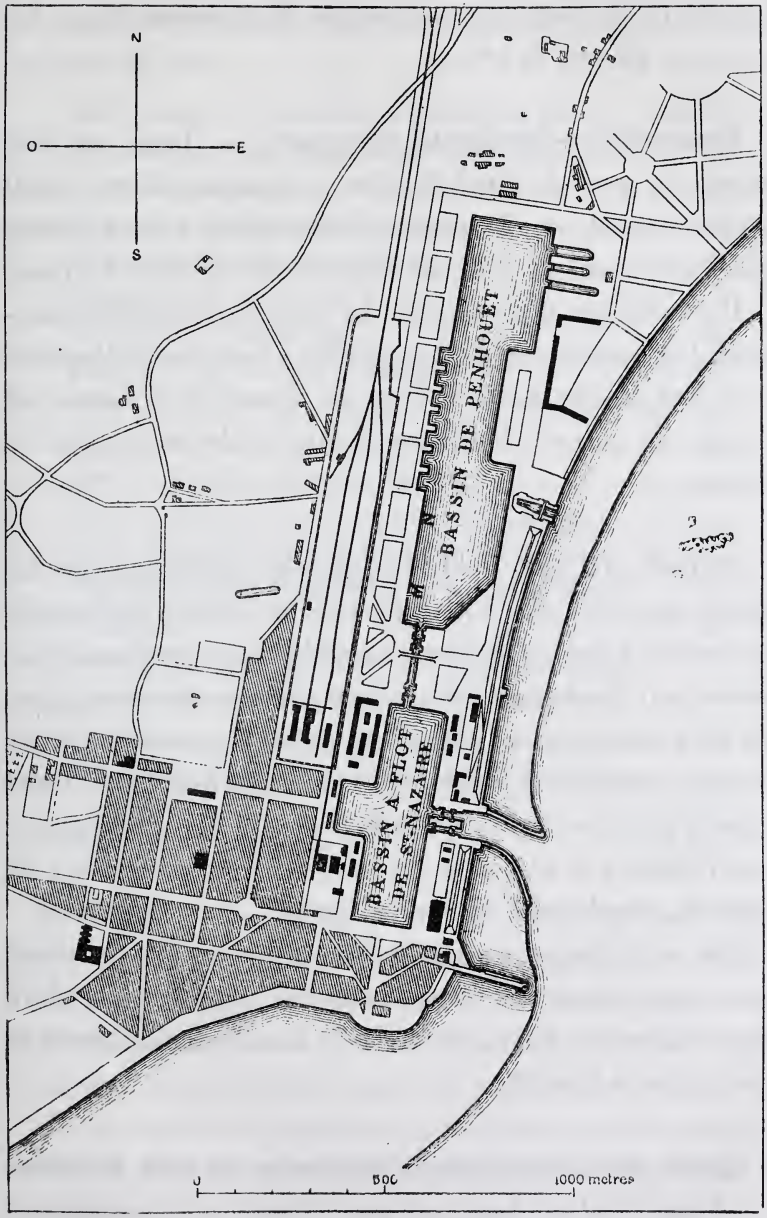
Un tableau. Vue à vol d'oiseau du port et de la ville.

I

DESCRIPTION GÉNÉRALE.

Le port de Saint-Nazaire, situé sur la rive droite de la Loire, à l'embouchure même du fleuve, est de création toute récente. Il y a trente ans, l'emplacement du bassin à flot était occupé par une anse où venaient stationner les bateaux des pilotes et des pêcheurs.

Au devant du port s'étend une rade formée par un vaste élargissement du grand chenal de la Loire. On y trouve à mer basse de 8 à 15 mètres d'eau. Son fond, exclusivement composé de vase, présente une très bonne tenue pour les ancres des navires. L'agitation n'y est jamais forte. Cette rade doit son calme aux bancs de sable et de rochers de l'embouchure, sur lesquels la mer vient se briser, et au môle construit à la pointe de la vieille ville.


N
O
E
S
BASSIN DE PENHOUET
BASSIN A FLOT
DE St-NAZAIRE
0
500
1000 mètres

A haute mer de morte eau, on trouve sur les passes de l'entrée de la Loire une profondeur d'au moins $7^{m},70$. En vive eau, elle est de $9^{m},20$.

Description générale du port. — Dans son état actuel, le port de Saint-Nazaire se compose d'un chenal bordé de jetées en charpente et aboutissant à deux écluses qui donnent entrée dans un bassin à flot entouré de quais.

Il n'existe pas d'avant-port. La rade en remplit les fonctions. Les navires viennent y mouiller à l'extrémité des jetées et se font ensuite haler le long du chenal. Si le bassin est ouvert, ils entrent directement dans le chenal et dans les écluses.

Nature du sol. — Les bassins et les écluses ont été établis dans une anse à fond de vase au-dessous de laquelle on trouvait à des profondeurs variables, mais toujours supérieures aux fondations, du rocher schisteux très compacte. On les a construits à l'abri d'une digue d'enceinte exécutée avec des vases prises à son pied et formant batardeau. Cette digue a été d'une exécution difficile; mais elle a fini par très bien résister à la mer avec un talus de 4 de base pour 1 de hauteur, simplement revêtu d'un perré.

Elle a été élargie avec les déblais provenant du bassin et forme maintenant les terre-pleins sur lesquels on a élevé des cavaliers en terre servant à la fois de fortifications et d'abri contre le vent.

Cotes des principaux ouvrages et des marées. — Avant d'entrer dans quelques détails sur les différents

ouvrages du port, il paraît utile de donner les cotes de ces ouvrages et celles des marées rapportées au nivellement général du port :

Couronnement des écluses et tablier des jetées..	13m,60
Couronnement des quais du premier bassin, dit «de Saint-Nazaire».....	14 ,60
Haute mer de vive eau d'équinoxe.....	15 ,08
Haute mer de vive eau ordinaire.....	15 ,50
Haute mer de morte eau.....	17 ,00
Basse mer de morte eau.....	19 ,30
Basse mer de vive eau ordinaire.....	20 ,50
Zéro de l'*Annuaire des marées*.....	20 ,83
Basse mer de vive eau d'équinoxe.....	21 ,00
Zéro de l'échelle de Saint-Nazaire.....	21 ,10
Busc de l'écluse à sas de 13 mètres de largeur...	23 ,10
Fond de la partie Sud du bassin de Saint-Nazaire.	23 ,20
Fond de la partie Nord-Ouest du bassin de Saint-Nazaire.....	24 ,00
Busc de l'écluse de 25 mètres de largeur. (L'écluse à sas entre les deux bassins a la même profondeur.).....	24 ,30
Fond de la partie Nord-Est du bassin de Saint-Nazaire.....	24 ,50
Barre des Charpentiers.....	24 ,73

Chenal. — Le chenal a été ouvert au travers d'une plage de vase qui découvre dans les grandes marées jusqu'à l'extrémité de la jetée Sud et, sur la rive Nord, jusqu'à une vingtaine de mètres en arrière du musoir, au pied duquel on trouve toujours à mer basse de 2 à 3 mètres d'eau.

Il est creusé et entretenu de manière que les navires y trouvent toujours 7 mètres de profondeur à haute mer de morte eau.

Jetées. — Des jetées en charpente bordent les deux rives du chenal. Leurs fermes sont espacées de $3^{m},75$ d'axe en axe. A l'intérieur comme à l'extérieur, le fruit est d'un dixième.

Le tablier a une largeur de $4^{m},50$, qui se trouve réduite à $3^{m},36$ entre les garde-corps. Il est au niveau du couronnement des écluses, soit à $1^{m},48$ au-dessus des grandes marées d'équinoxe.

Toute la charpente est en bois de sapin de Prusse. Les vers tarets, qu'on ne connaissait pas autrefois à Saint-Nazaire, y ont apparu en 1859. Leurs ravages y sont assez considérables.

Dans toute la partie qui avoisine l'écluse, on a dû établir la jetée Nord au-dessus de vases peu consistantes recouvrant, à une profondeur de plusieurs mètres au-dessous des basses mers, un rocher très dur où les pieux ne peuvent pas pénétrer.

On adopta pour la fondation de cette partie de la jetée le système déjà employé pour les murs établis en prolongement des bajoyers des écluses. Les fermes furent fixées sur des puits carrés en maçonnerie de 6 mètres de côté, qu'on faisait descendre jusqu'au rocher par leur propre poids en enlevant par l'intérieur les vases sur lesquelles ils reposaient[1]. Ces puits, arasés à la cote (18 mètres), recevaient les semelles des fermes.

Ce mode de construction a très bien réussi. Perfectionné et complété par l'emploi de l'air comprimé, il a été employé avec succès aux fondations de beaucoup de grands

[1] Les détails de ces écluses et de ces puits se trouvent décrits dans la *Collection des dessins de l'École des Ponts et Chaussées* (t. Ier, p. 295 à 301).

ponts et d'autres ouvrages analogues fondés au travers de mauvais terrains.

Écluses. — Deux écluses occupent le fond du chenal[1]. Elles ont été entièrement fondées sur le rocher. La plus grande, construite en vue des paquebots transatlantiques à roues, a 25 mètres de largeur. C'est une écluse simple à deux paires de portes, dont l'une sert de garantie pour les cas d'accidents ou de réparations. Au point le plus bas des buscs, qui affectent la forme d'un arc de cercle relevé de $2^{m},50$ sur les côtés, on trouve, dans les plus faibles hautes mers, $7^{m},30$ d'eau. En vive eau, la haute mer est de $8^{m},80$.

La petite écluse a une largeur de 13 mètres; elle est munie d'un sas de 60 mètres de longueur qu'on peut faire fonctionner depuis la mi-marée montante jusqu'à la mi-marée baissante, c'est-à-dire pendant six ou sept heures. Les buscs sont horizontaux, et la mer y monte de $6^{m},10$ en morte eau et de $7^{m},60$ en vive eau.

Chaque fois que les mouvements d'entrée et de sortie des grands navires y obligent, l'écluse de 25 mètres peut rester ouverte pendant deux ou trois heures.

Bassin à flot. — Les écluses débouchent au milieu du bassin à flot, dont voici les dimensions :

1re partie..	Longueur.....	580^{m}
	Largeur.....	160
2e partie...	Longueur.....	140
	Largeur.....	90

Sa superficie est de 10 hectares 40 ares.

[1] Voir la note de la page précédente.

Toute la partie inférieure a été creusée, à des profondeurs variables, dans des gneiss schisteux, qui, simplement revêtus sur certains points de placages en maçonnerie, forment le noyau des murs de quai.

On maintient toujours les eaux du bassin à une profondeur égale ou supérieure à celles des faibles hautes mers de morte eau cotées (17 mètres). A ce niveau, on trouve les profondeurs suivantes :

En face des écluses et du quai des Frégates....	$7^{m},50$
Le long du quai de la Marine.....	7 ,10
Entre les quais de la Loire, de la Vieille-Ville et du Commerce.....	6 ,20
Entre les quais Watier, Henri-Chevreau et Jégou, de $6^{m},20$ à.....	7 ,00

Le bassin est entouré de vastes quais mis en communication avec la gare du chemin de fer par les lignes de rails.

Le port de Saint-Nazaire étant surtout un port de transit, presque toutes les marchandises passent directement des navires dans les wagons ou dans les gabares qui remontent à Nantes, et réciproquement.

Le développement total des quais est de 1 580 mètres. Une grande partie est occupée par des services publics et par la Compagnie générale transatlantique, à qui l'on a concédé les terrains situés en arrière du quai de la Marine et du quai Jégou. Elle y a établi les hangars, magasins, ateliers de réparations, parcs à charbon, etc. nécessaires pour assurer le service de ses deux lignes du Mexique et des Antilles.

Les 860 mètres de quais attribués au commerce sont complètement insuffisants pour ses besoins et motivent l'exé-

cution d'un second bassin que la navigation attend avec une grande impatience et qui sera très probablement livré au commerce au mois d'octobre 1880.

Dévasement du port. — En se reportant au commencement de cette notice, on voit que le chenal du port de Saint-Nazaire a été ouvert artificiellement au milieu d'une plage de vase qui tend toujours à se reformer par les apports constants des marées. Il faut donc les combattre sans relâche, et ce problème a été résolu d'une manière aussi satisfaisante et économique que possible à l'aide de bateaux pompeurs et porteurs, dont la machine s'attelle successivement sur les pompes et sur l'hélice qui fait mouvoir le bateau[1]. On conduit ce bateau en rade à 1 000 ou 1 500 mètres du port, et on le décharge en ouvrant des clapets.

Une drague ordinaire à godets sert à curer les parties du port où, par une cause ou par une autre, les vases ne sont plus assez liquides pour être pompées, ce qui arrive dès que leur densité dépasse 1,200.

On est aujourd'hui parfaitement fixé sur l'importance et le prix de revient des travaux de dévasement du port. Pour l'entretenir à la profondeur normale que réclament les mouvements des grands navires, il faut enlever chaque année :

1° Dans le bassin (d'une superficie de $10^{h},40$).	163 000^{mc} de vase.
2° Dans le chenal (d'une superficie de $1^{h},35$).	193 000
Total.....	356 000

[1] Voir la description détaillée de ce bateau dans la *Collection des dessins de l'École des Ponts et Chaussées* (t. Ier, p. 34).

Ce qui correspond à $1^{mc},55$ par mètre carré de bassin et à $14^{mc},27$ par mètre carré de chenal.

Les trois quarts de ces vases sont pompés; le reste est dragué.

Ces opérations s'exécutent aux prix suivants :

EXTRACTION ET TRANSPORT D'UN MÈTRE CUBE DE VASE POMPÉE.

Charbon, réparation du matériel et main-d'œuvre.	$0^f,18$
Intérêts et amortissement du matériel.....	0 ,24
PRIX TOTAL de revient.....	0 ,42

EXTRACTION ET TRANSPORT D'UN MÈTRE CUBE DE VASE DRAGUÉE.

Charbon, réparation du matériel et main-d'œuvre.	$0^f,38$
Intérêts et amortissement du matériel.....	0 ,37
PRIX TOTAL de revient.....	0 ,75

Ces frais d'entretien s'élèvent à environ 80 000 francs par an.

Dépenses. — Les dépenses auxquelles se sont élevés les travaux proprement dits du bassin de Saint-Nazaire se répartissent ainsi qu'il suit :

Digue d'enceinte.....	295 000^f
Terrassements et maçonneries du bassin.....	5 424 000
Construction des jetées et creusement du chenal.....	1 434 000
Portes d'écluses, vannes, etc.....	693 000
Travaux divers.....	280 000
TOTAL.....	8 126 000

Nouveaux travaux en cours d'exécution ou projetés. — Bassin de Penhouët. — L'insuffisance du bas-

sin à flot de Saint-Nazaire a été bientôt constatée, et l'on décida qu'un second bassin serait construit dans l'anse de Penhouët, à la suite du premier. La dépense est évaluée à 22 800 000 francs et les travaux sont aujourd'hui en pleine activité.

Il n'a pas été possible de créer une entrée directe de la rade dans le bassin de Penhouët. Il eût fallu, pour arriver aux grandes profondeurs, s'avancer beaucoup vers le large, et la saillie produite par l'établissement de ce nouveau chenal aurait indubitablement envasé l'entrée actuelle. On ne pourra donc entrer dans le second bassin qu'en passant par le premier.

La digue de ceinture qui enveloppe et protège tout l'atelier a été fermée en 1865, et on l'élargit avec les déblais du bassin pour former les terre-pleins.

Écluse à sas. — La communication entre les deux bassins aura lieu au moyen d'une écluse à sas ayant, comme l'écluse actuelle, 25 mètres de largeur et $7^{m},30$ de profondeur d'eau en morte eau sur les buscs, qui sont horizontaux.

Elle est munie de quatre paires de portes[1] permettant de sasser dans les deux sens, afin qu'on soit complètement maître du niveau des eaux dans le bassin de Penhouët et qu'on y prévienne les envasements. La longueur du sas est de 130 mètres.

Deux grands aqueducs de 2 mètres de largeur traversent les bajoyers d'un bout à l'autre et mettent en communication les deux bassins. Ils servent aux manœuvres du sas, avec lequel ils communiquent au moyen d'aqueducs secon-

[1] Voir la description de ces portes au chapitre III de cette notice.

daires. On y a ménagé des prises d'eau aboutissant à de petits systèmes d'aqueducs débouchant, par des orifices de $0^m,20$ de hauteur, au niveau du fond des chambres des portes. Ils serviront à produire des chasses et permettront de supprimer le dévasement à bras.

Un pont roulant, en tôle, servant à la fois au passage des voitures et des wagons, sera établi vers le milieu de l'écluse.

L'écluse est terminée. Elle sert et servira, jusqu'à l'achèvement du second bassin, de forme de radoub pour les grands paquebots. A cet effet, on a installé près d'elle et provisoirement les grandes machines d'épuisement qui doivent servir plus tard aux trois formes situées au Nord du nouveau bassin.

Murs de quai. — Des murs de quai ne pourront pas être établis sur tout le pourtour du bassin. La mauvaise nature du sous-sol ne permet pas d'en construire au passage de la vallée vaseuse qui traverse le bassin. Dans l'angle Sud-Est et au milieu du quai Ouest, les murs seront remplacés par des perrés reposant sur d'épais enrochements. Des appontements en charpente y faciliteront l'accostage des navires.

Les murs de quai ont $10^m,40$ de hauteur au-dessus du plafond du bassin. Ils sont tous fondés sur le rocher, mais dans des conditions très variables. Tandis que quelques-uns d'entre eux se composent d'un simple placage contre le rocher, les autres ont dû aller le chercher à 15 mètres et même 18 mètres de profondeur au-dessous du plafond du bassin. Dans ces derniers cas, on les a construits sur ar-

cades et l'on a fondé les piles sur des puits coulés, analogues à ceux de la jetée Nord[1].

Formes de radoub. — Trois formes de radoub fondées sur le rocher sont établies au fond du bassin de Penhouët avec les dimensions suivantes :

FORMES.	LARGEUR de L'ENTRÉE.	LONGUEUR.	PROFONDEUR au-dessous des hautes mers de morte eau.
N° 1	25^{m},00	140^{m},00	7^{m},30
N° 2	13 ,00	120 ,00	4 ,50
N° 3	18 ,00	150 ,00	7 ,30

La forme n° 1 est actuellement complètement terminée. Les deux autres le seront à la fin de l'année. La forme n° 3 sera spécialement réservée au service transatlantique.

Prise d'eau. — En créant à Saint-Nazaire un second bassin deux fois plus étendu que le premier, il fallait chercher à en réduire l'envasement aux plus faibles proportions.

Dans ce but, on l'alimentera au moyen d'une prise d'eau spéciale débouchant en rade et munie de clapets qu'on ne fera fonctionner que rarement, deux ou trois fois par mois, en choisissant des temps calmes où les eaux des couches supérieures sont très peu chargées de vase.

La prise d'eau aura 26 mètres de largeur, et les clapets

[1] Voir la description détaillée de ce mode de construction au chapitre II de la présente notice.

se manœuvreront par abaissement de manière à ne prendre que l'eau de superficie jusqu'à la profondeur que l'on jugera convenable. La manœuvre de ces clapets, comme celle de l'écluse de communication et du pont roulant, s'exécuteront à l'aide d'appareils mus par l'eau comprimée.

Chantiers de construction. — On a réservé entre le bassin et la rade des espaces suffisants pour établir des chantiers de construction. Une partie est déjà occupée par ceux de la Compagnie générale transatlantique, qui y a fait construire cinq de ses grands paquebots en fer.

Dépenses. — Les dépenses du bassin de Penhouët ont été évaluées à 22 800 000 francs; elles se décomposent de la manière suivante :

Acquisitions de terrains	1 775 000f
Digue de ceinture	600 000
Terrassements	4 700 000
Écluse à sas de 25 mètres de largeur	3 500 000
4 paires de portes métalliques	1 000 000
Murs de quais et perrés à l'intérieur du bassin	5 800 000
Pont roulant, prise d'eau et appareils hydrauliques	800 000
Trois formes sèches	3 000 000
4 bateaux-portes de ces formes	700 000
Travaux divers	325 000
Emploi de l'écluse à sas comme forme provisoire	100 000
Frais généraux et dépenses imprévues	500 000
Total	22 800 000

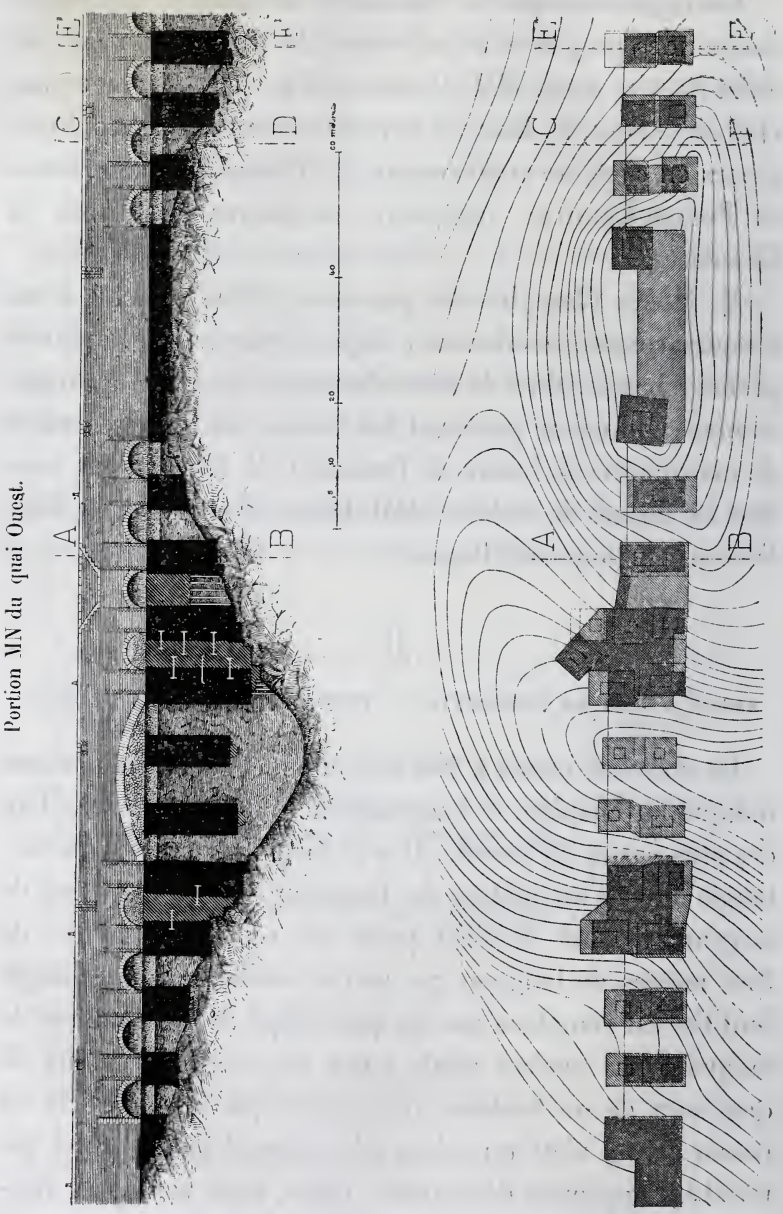
Les ingénieurs qui ont concouru successivement à la rédaction des projets et à l'exécution des travaux du port de Saint-Nazaire sont : MM. Cabrol et Plantier, ingénieurs en chef directeurs; A. Jégou, Chatoney et de Carcaradec, ingénieurs en chef; de la Gournerie, A. Watier, Leferme, Révol et Pocard-Kerviler, ingénieurs ordinaires des Ponts et Chaussées.

M. Morel (Joseph) n'a pas cessé d'être attaché à ces travaux comme conducteur, depuis leur origine, pour le premier bassin, dit « de Saint-Nazaire ». M. David a dirigé, comme conducteur principal, les travaux de terrassement et de maçonnerie du bassin de Penhouët. M. Labussière a conduit les formes de radoub; MM. Butat, Stephany et Le Gal, les constructions métalliques.

II

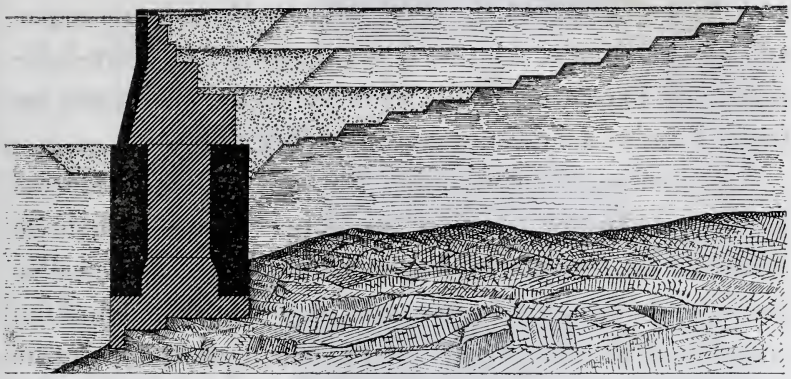
BASSIN À FLOT DE PENHOUËT. — FONDATION DES MURS DE QUAI.

Le nouveau bassin à flot de Penhouët, dont nous avons indiqué au chapitre 1er l'aménagement principal, sera l'un des plus vastes du monde. Il a la forme générale d'un rectangle de 1100 mètres de longueur sur 230 mètres de largeur; le côté de l'Est porte un redan en saillie, de 300 mètres de long sur 70 mètres de large, dont l'angle Sud-Est est remplacé par un pan coupé de 200 mètres de longueur. La surface totale entre les arêtes des murs de quai sera de 22 hectares 1/2, tandis que la superficie du bassin actuel n'est que de 10 hectares. L'avant-projet général fut approuvé dès l'année 1860, trois ans après l'ouverture du bassin actuel. On commença le creusement en

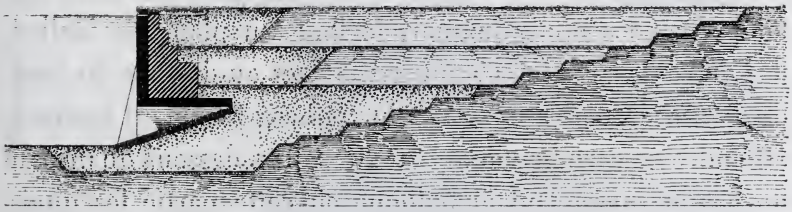


Portion MN du quai Ouest.

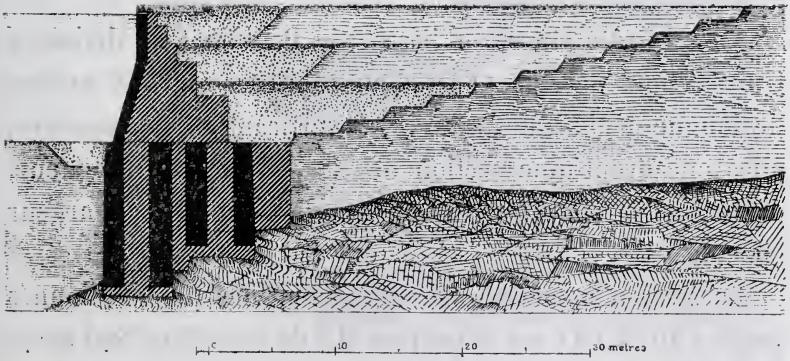
Coupe A B.



Coupe C D.



Coupe E F.

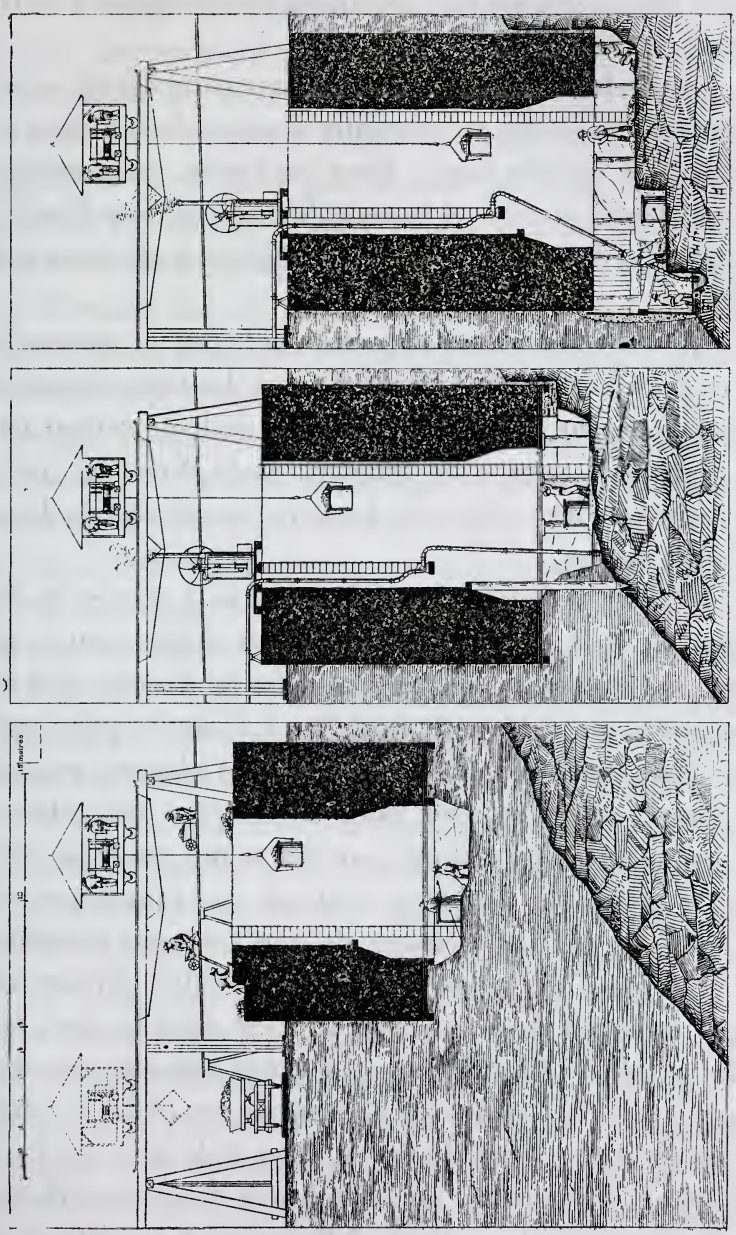


1869; mais le projet définitif des murs de quai ne date que de l'année 1875, et les travaux n'ont été poussés activement que depuis la fin de cette même année. On y consacre par an 2 à 3 millions, dont le département de la Loire-Inférieure fait l'avance à l'État; selon toutes les prévisions, les travaux seront achevés au mois d'octobre 1880.

La situation topographique du terrain a nécessité ces grandes dimensions. L'espace sur lequel s'étend le bassin de Penhouët est traversé en diagonale par une ancienne vallée rocheuse de granit et gneiss, très profonde et aujourd'hui complètement remplie par les alluvions argilo-sableuses de la Loire. Il fallait établir les deux côtés Nord et Sud sur les deux rives extrêmes de cette vallée. En se rapprochant du thalweg dans les deux sens, on est obligé de descendre les fondations des murs de quai, le long du plan très incliné des coteaux, jusqu'à 15 ou 18 mètres au-dessous du fond du bassin. Dans les environs du thalweg même, il faudrait atteindre en certains points 30 mètres au-dessous du niveau du bassin; aussi l'on abandonne en cette partie les quais verticaux de maçonnerie, et on les remplace par des estacades en bois sur pilotis, destinées aux marchandises légères.

Ainsi le côté Ouest du bassin de Penhouët se divise en trois sections distinctes: les deux extrêmes ont 356 mètres de longueur chacune, avec quais verticaux de maçonnerie; elles encadrent une section de 388 mètres de longueur, desservie par six estacades en bois de 12 mètres de largeur chacune.

La section à laquelle se rapportent les dessins donnés pages 140 et 141 est la portion MN de la section Sud de ce



Fonçage d'un puits.

quai Ouest; elle est en maçonnerie et correspond à la rive droite de la vallée rocheuse.

Les fondations ne présentent aucune particularité notable tant que le rocher se rencontre à moins de 4 mètres au-dessus du fond du bassin. Dans ces limites, on se contente d'une fouille directe, et la seule difficulté consiste dans l'appréciation du talus nécessaire au déblai des alluvions extérieures.

On a reconnu que, dans ces conditions de profondeur (10 à 14 mètres) et de fixité du pied des talus, il convient d'adopter pour le déblai de vase une déclivité variant de 2 à 3 de base pour 1 de hauteur : on le divise en gradins horizontaux de 1 mètre de hauteur, ce qui facilite l'accès des matériaux.

Dès que la fouille descend à plus de 4 mètres au-dessous du fond du bassin, les talus de déblai sont si peu stables pendant les périodes humides de l'année qu'il faut admettre un système de fondation à l'aide de puits coulés en place dans toute la profondeur de l'alluvion; ces puits forment, lorsqu'ils sont calés et remplis, des piles solides qu'on réunit ensuite par des voûtes en plein cintre de 6 mètres de diamètre; c'est sur ces voûtes que sont établis les quais. Le havage de tous ces puits s'exécute à l'air libre et ne présente aucune difficulté sérieuse tant que le massif de maçonnerie se meut dans la vase; mais il n'en est plus de même lorsqu'il arrive à toucher au rocher par un de ses angles ou par un de ses côtés. La déclivité du rocher étant souvent à 2 ou 3 de base pour 1 de hauteur, il se produit un porte-à-faux si considérable qu'il est impossible de soutenir définitivement le puits ou de

circonscrire par un blindage le prisme de vase situé au-dessous. Les premiers puits au Nord avaient une section de 11 mètres sur 5, avec un vide intérieur de 5 mètres sur 2. La pente du rocher se trouvait dans le sens de leur longueur; il en résultait que, lorsque l'un d'eux atteignait le rocher par son côté Ouest, il avait encore au moins 6 mètres de vase sur son côté Est. On n'a pas hésité à les faire descendre dans le roc même dérasé en encastrement régulier, et c'est dans cette opération fort délicate que réside la nouveauté du travail; en voici la description sommaire :

Lorsque le puits touche au rocher par l'un de ses côtés extérieurs (voir la série des dessins représentant la suite des phases de l'opération), on bat de gros pieux de $0^m,40$ à $0^m,50$ d'équarrissage le long du côté intérieur opposé; puis on les recèpe à $1^m,50$ ou 2 mètres au-dessus de la plate-forme inférieure du massif, pour les ramener, à l'aide de vérins hydrauliques, sous un fort palâtre encastré dans la maçonnerie. On fouille alors la vase sur $1^m,50$ de profondeur au-dessous du puits, et l'on attaque le rocher qui se découvre à la pioche ou à la mine, de manière à enlever un prisme triangulaire dont la face inférieure soit horizontale. A mesure qu'on avance, on dispose de forts billots sous le puits, afin de le soutenir; puis, lorsque le prisme de roc est enlevé, on perce un trou de tarière dans tous les billots jusqu'à la moitié de leur épaisseur; on place dans chacun de ces trous horizontaux une cartouche de 50 grammes de dynamite avec une mèche à poudre ordinaire de 1 mètre de longueur : on allume toutes les mèches, on remonte, et, par l'effet de l'explosion, tous les pieux éclatent et s'écrasent. Le massif de maçonnerie descend alors en brisant soit les

gros pieds battus, soit leur palâtre qu'on a eu soin de ne pas pétarder pour obtenir une résistance du côté de la vase. Cette résistance et le matelas de vase qui s'écrase de côté déterminent une descente très régulière et verticale. On recommence alors l'opération d'une façon analogue à $1^m,50$ plus bas, en détachant cette fois un prisme trapézoïdal de rocher, et, de chute en chute, on arrive à loger le massif dans un encastrement rocheux dont la base est horizontale et la surface assez grande pour qu'on n'ait pas à craindre le déversement et qu'on puisse effectuer à vif le déblai des vases restantes, sans avoir trop à compter avec le siphonnement des vases extérieures.

On a fait descendre ainsi de 4 mètres dans le rocher, en trois opérations successives, le grand puits-culée, qui mesure 9 mètres sur 12 de côté et qui pesait 2 millions de kilogrammes; il était supporté à sa dernière descente par vingt-cinq étais de $0^m,45$ d'équarrissage, et vingt mineurs travaillaient par-dessous avec la plus grande sécurité.

Pour rendre le fonçage plus économique et plus facile, on a été cependant amené à diviser les puits de fondation en deux puits échelonnés l'un derrière l'autre lorsque les sondages indiquaient une trop forte inclinaison du rocher. De cette façon, le nombre des descentes est notablement diminué, le cube de rocher à extraire l'est encore davantage, et il ne reste plus, une fois les deux puits calés en sous-œuvre, qu'à déblayer l'entre-deux à vif pour le remplir de maçonnerie. Mais ce système a des inconvénients : d'abord les puits sont beaucoup moins lourds, ils s'enfoncent moins bien, à cause du frottement latéral des vases, et souvent il faut les charger de 80 ou 100 tonneaux de

gueuses de fonte pour les mettre en mouvement; de plus, le puits d'arrière, poussé par la différence de pression des déblais, est entraîné vers le puits d'avant de telle façon que le déblai de l'entre-deux devient parfois difficile. Les deux puits étant de 5 mètres sur 5 mètres, et l'intervalle entre l'un et l'autre de 2 mètres, il arrive presque toujours qu'ils se rapprochent d'au moins 1 mètre en pénétrant de 10 à 15 mètres dans la vase.

On a employé avec avantage, pour extraire simultanément les déblais des petits puits conjugués et manœuvrer les pompes d'épuisement, un treuil à vapeur roulant, dont tous les mouvements sont obtenus à l'aide de câbles en fils de fer et chanvre tressés.

Malgré des difficultés exceptionnelles, malgré de fréquents éboulements survenus dans les talus des déblais extérieurs, malgré le siphonnement continuel des vases inférieures par l'intérieur des puits, le travail s'est exécuté dans des conditions assez économiques. La dépense du mètre cube de maçonnerie des piles, tous frais compris et les déblais étant transportés à 1 kilomètre de distance, se décompose ainsi qu'il suit, d'après la moyenne des 35 000 mètres cubes de fondation aujourd'hui terminés et exécutés en régie :

Maçonnerie.	Matériaux.	Moellons ordinaires avec mortier de ciment à 400^{k} pour le puits, et mortier avec un tiers de chaux hydraulique pour les remplissages	19^{f},00
	Façon (toutes sujétions et pertes de temps comprises).		10 ,00
		A reporter.	29 ,00

Report.....	29f,00
Machines élévatoires des déblais.....	3 ,00
Main-d'œuvre des déblais (il faut extraire environ trois fois le cube de la pile, à cause des rentrées et des siphonnements).....	14 ,00
Transport des déblais à 1 kilomètre.....	4 ,50
Épuisements.....	3 ,00
Bois pour les plates-formes, les pieux et les étais, etc.	2 ,00
Service général.....	1 ,50
TOTAL du prix du mètre cube.....	57 ,00

Ce prix total est notablement inférieur à celui de la plupart des fondations tubulaires.

L'avant-projet a été étudié par M. LEFERME, ingénieur ordinaire, sous la direction de M. CHATONEY, alors ingénieur en chef.

Les projets définitifs ont été dressés et les travaux dirigés par M. POCARD-KERVILER, ingénieur ordinaire, sous la direction de M. DE CARCARADEC, ingénieur en chef.

M. DAVID a participé à cet ouvrage comme conducteur principal.

Les entrepreneurs étaient : M. BORD, pour les maçonneries et les terrassements généraux ; MM. BUETTE et BÉCHU, ingénieurs civils, pour les appareils d'exécution en régie ; MM. HERMANN-LACHAPELLE, pour la construction des machines.

III

PORTES MÉTALLIQUES DE L'ÉCLUSE DE 25 MÈTRES

SERVANT DE COMMUNICATION ENTRE LES DEUX BASSINS À FLOT.

La première paire de portes à deux vantaux busqués de

l'écluse de 25 mètres qui doit établir la communication entre les deux bassins à flot a été projetée en 1869 et construite de 1873 à 1874 par la Compagnie des forges et chantiers de l'Océan.

La coupe horizontale affecte la forme plan-convexe que possèdent déjà les portes en fer et bois de la grande écluse d'entrée du bassin à flot de Saint-Nazaire, forme se rapprochant, autant que la pratique le permet, de la section d'égale résistance qui convient à une poutre également chargée sur toute sa longueur et appuyée à ses deux extrémités. D'autre part, le renflement au milieu empêche la porte de fléchir sous la compression longitudinale que produit la butée des deux vantaux. La courbure de la face convexe a même centre que le cercle circonscrit au busc.

D'après cela, les dimensions générales du vantail sont les suivantes :

Face plane d'élévation.	Hauteur	$10^m,203$
	Largeur	13 ,697
Plan de la porte.	Épaisseur aux extrémités du vantail	0 ,600
	Flèche totale au milieu du vantail.	1 ,623
	Rayon du cercle de la face courbe.	24 ,050

Le mode de construction a été combiné d'après les recherches expérimentales de feu M. l'inspecteur général Chevallier et les calculs de M. Lavoinne ; on a adopté des entretoises également espacées, à condition de tenir compte de la résistance propre des pièces verticales, poteaux montants et bordé.

Conformément aux principes posés par ces deux ingénieurs, on a d'abord cherché à réduire le plus possible le nombre des entretoises, tout en restant dans des conditions pratiques, c'est-à-dire en n'employant pour la composition de ces entretoises que des tôles et des cornières de fabrication courante. On s'est arrêté à un chiffre de douze entretoises distantes d'axe en axe de $0^m,897$. Des considérations analogues ont fait adopter cinq poteaux montants : un au milieu suivant l'axe transversal du vantail, deux autres à chaque quart de la longueur en plan ; les deux derniers sont à une faible distance ($0^m,66$) des faces butante et buscante. Ces deux derniers peuvent être considérés comme des dépendances des systèmes tubulaires qui constituent les poteaux busqués et tourillons : de sorte qu'en se plaçant à ce point de vue, les portes ne présentent, outre les poteaux busqués et tourillons, que trois poteaux montants.

Les entretoises, comme les poteaux montants, comprennent : une âme de $0^m,015$, dont le double T est formé d'une bande de $0^m,335 \times 0^m,015$; un bordé de $0^m,010$, et des cornières de $\frac{0^m,110 \times 0^m,160}{0^m,016\ 1/2}$. Leur moment d'inertie est de 0,0253.

Les formules de M. Lavoinne ont été partout exactement appliquées pour les calculs de résistance des pièces et la justification de leurs dimensions. Le coefficient de raideur générale du vantail a été fixé à 2,13, et l'on a trouvé que, ni dans les entretoises, ni dans les poteaux montants, le fer ne devait travailler à plus de 4 kilogrammes par millimètre carré.

Le bordé, de $0^m,010$, ne travaille qu'à 1/3 de kilogramme par millimètre carré; en adoptant cette épaisseur,

on a tenu compte de l'usure par la rouille. On s'est interdit de galvaniser les tôles, dans la crainte que cette opération n'en modifiât la qualité. Le doublage en zinc n'a pas été non plus employé, les essais de ce procédé n'ayant pas paru en établir suffisamment l'avantage.

Pour la conservation des tôles, on n'a adopté que la peinture, et les compartiments intérieurs des vantaux sont disposés de manière qu'on puisse en gratter et repeindre les parois toutes les fois qu'il sera nécessaire.

Au point de vue de la stabilité, la quatrième entretoise forme pont étanche, en sorte que l'eau joue librement pour mettre la porte à l'abri de toute chance de soulèvement lors des marées. En mortes eaux, le poids de chaque vantail, y compris la tranche d'eau introduite dans le compartiment supérieur, est de 140 tonneaux; l'effort de soulèvement est de 126 tonneaux. Reste, pour le poids du vantail immergé, 14 tonneaux; aux plus basses mortes eaux, il est de 15 tonneaux; il ne descend jamais au-dessous de 10 tonneaux en vives eaux.

Pour rendre la fermeture plus exacte, on a appliqué contre le busc une bande de caoutchouc, et une expérience de trois ans a prouvé que l'écluse peut servir provisoirement de forme de radoub. Les manœuvres se font à l'aide de treuils à main.

La dépense totale des deux vantaux, avec leurs accessoires, a été de 300 000 francs.

Les projets ont été dressés par M. Révol, ingénieur ordinaire, sous la direction de M. Chatoney, alors ingénieur en chef.

Les travaux ont été exécutés, sous la direction de M. Le-

FERME, ingénieur en chef, par M. RÉVOL, ingénieur ordinaire, avec le concours de M. BUTAT, conducteur des Ponts et Chaussées.

La COMPAGNIE DES FORGES ET CHANTIERS DE L'OCÉAN était adjudicataire de la partie métallique.

On construit actuellement, pour la même écluse, trois paires de portes du même type.

Les travaux sont exécutés par M. POCARD-KERVILER, ingénieur ordinaire, sous la direction de M. DE CARCARADEC, ingénieur en chef.

Les entrepreneurs sont MM. BAUDET, DONON et Cie, dont l'usine est à Argenteuil. L'adjudication a eu lieu le 8 août 1879, et les trois paires de portes seront mises en place en octobre 1880.

Le conducteur des travaux est M. STÉPHANY.

XIV

PORT DU HAVRE.

I. CONSTRUCTION DU BASSIN DE LA CITADELLE.

II. AGRANDISSEMENT DE L'AVANT-PORT DU CÔTÉ SUD.

III. ACHÈVEMENT DU BASSIN DE L'EURE ET CONSTRUCTION DE LA DIGUE SAINT-JEAN.

Un tableau. Vue à vol d'oiseau du port et de la ville.

I

CONSTRUCTION DU BASSIN DE LA CITADELLE.

Ce bassin comprend deux darses, qui communiquent, d'un côté, avec l'avant-port par un sas éclusé, et de l'autre, avec le bassin de l'Eure par une écluse simple; trois formes de radoub de dimensions graduées; deux écluses de chasse.

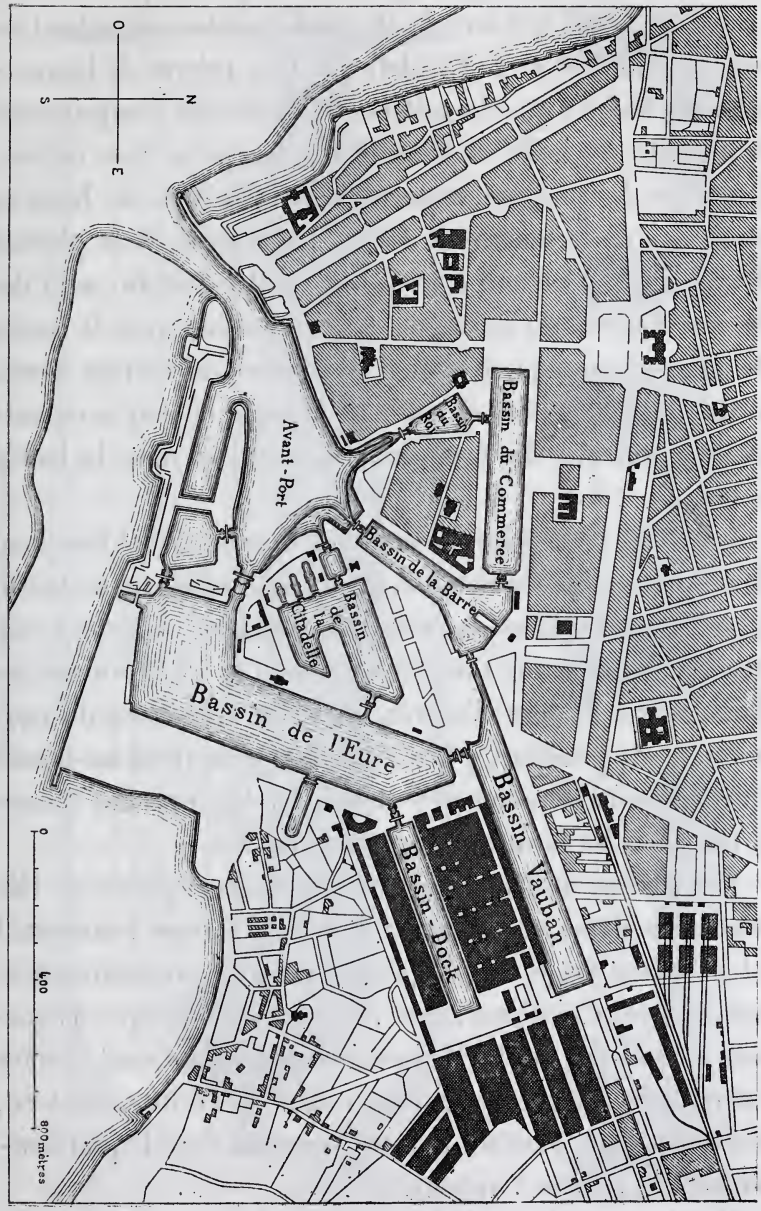
Les trois écluses de navigation ont uniformément 16 mètres de largeur, mesurée au niveau du couronnement des murs de quai du bassin à flot; les bajoyers ont été inclinés au 1/8.

Le seuil ou haut radier de l'écluse d'aval du sas a été placé au niveau même du plafond de l'avant-port, soit à $1^{m},65$ en contre-bas du zéro des cartes marines. Comme le repère d'ouverture et de fermeture des portes de cette écluse a été fixé à $5^{m},30$ au-dessus du seuil, les navires tirant 5 mètres d'eau peuvent entrer dans le sas, et de là passer

dans l'un quelconque des bassins à flot, quatre heures et demie après le plein de la mer, c'est-à-dire trois heures environ après la fermeture des écluses de marée. Au départ, les avantages sont analogues; et, en fait, les navires sortent du sas au moment même où les steamers qui stationnent dans l'avant-port prennent la mer.

Il eût été inutile de donner aux écluses d'amont du sas et de communication avec le bassin de l'Eure la même profondeur qu'à l'écluse d'aval du sas; la hauteur en a été réduite de $2^m,30$, et leur seuil a été arasé à $0^m,65$ en contre-haut du zéro des cartes; de sorte que, par les plus faibles pleines mers de morte eau, les navires de 5 mètres de calaison peuvent librement franchir ces écluses.

Le sas a 80 mètres de longueur sur 55 mètres de largeur et ses murs de quai ont $11^m,30$ de hauteur normale au-dessus de la fondation. Le plafond du sas est placé à $0^m,50$ en contre-bas du seuil de l'écluse d'aval; et, grâce à cette disposition, les vases que le flot apporte dans le port pourront se déposer au fond du sas, sans que, de longtemps, il soit nécessaire de recourir à des dragages pour assurer les évolutions des navires. Le remplissage du sas s'effectue simultanément par quatre ventelles ayant chacune trois ouvertures ménagées dans les portes de l'écluse d'amont et par deux aqueducs, de $1^m,94$ de section chacun, qui s'ouvrent sur le haut radier; l'opération dure dix minutes en moyenne. Deux aqueducs, de la même section que les précédents, servent à vider le sas, c'est-à-dire à abaisser le plan d'eau à la cote $5^m,30$ au-dessus du haut radier de l'écluse d'aval; trente-cinq minutes sont nécessaires pour cette seconde opération.

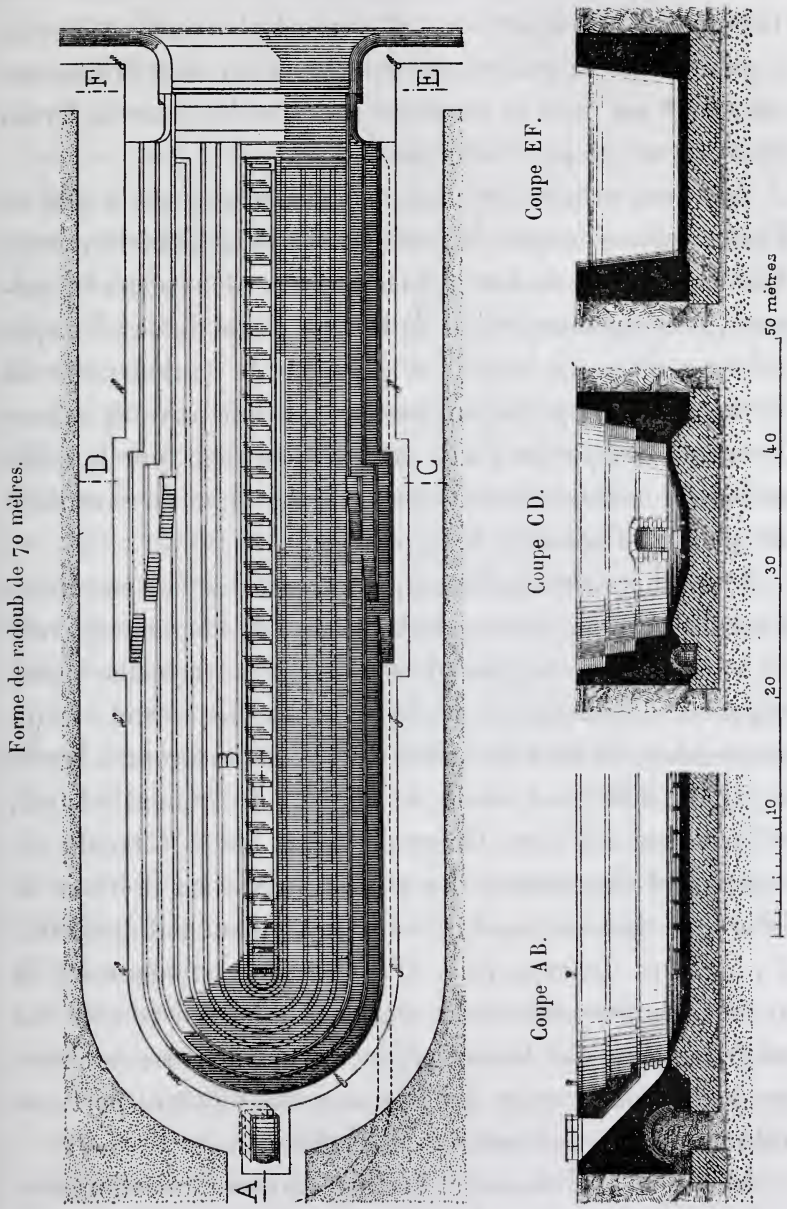

Bassin de l'Eure
Avant-Port
Bassin de la Citadelle
Bassin du Roi
Bassin de la Barre
Bassin de Commerce
Bassin Vauban
Bassin-Dock
0
400
800 mètres
N
S
E
O

Le bassin à flot est partagé en deux parties par un môle. La partie Nord, qui sert de chenal d'évolution entre les bassins de l'Eure et de la Citadelle, a 110 mètres de largeur; la partie Sud n'a que 80 mètres, et l'intervalle compris entre l'extrémité du môle et l'entrée des formes a 100 mètres. Les murs de quai ont uniformément 9 mètres de hauteur au-dessus de la fondation. Le pied des murs et le plafond du bassin se trouvent à $0^m,50$ en contre-bas du seuil des écluses d'amont du sas et de communication avec le bassin de l'Eure; conséquemment il s'écoulera un certain temps avant que les dépôts de vase qu'apporte la mer montante puissent entraver les évolutions des navires dans le bassin à flot.

Les trois formes qui constituent le nouvel établissement de radoub ont été construites sur la rive Sud-Ouest du bassin de la Citadelle. Elles ont respectivement 45, 55 et 70 mètres de longueur sur tins d'échouage; 11, 13 et 16 mètres de largeur à l'écluse d'entrée, mesurée au niveau du couronnement; 7 mètres, $7^m,50$ et 8 mètres de creux au-dessus du seuil ou haut radier de l'entrée; les bajoyers des écluses et les rives des formes sont inclinés au 1/8.

Les formes sont fermées par des bateaux-portes en tôle couronnés d'une passerelle et munis de vannes concourant à leur remplissage. Chaque forme est mise en communication directe, d'une part, avec l'avant-port au moyen d'aqueducs fermés par de doubles vannes métalliques dont l'orifice s'ouvre au pied même du haut radier de l'écluse d'entrée, et d'autre part, avec un puisard commun dans lequel fonctionne une pompe à vapeur.

En vive eau, les trois formes s'assèchent complètement à


Forme de radoub de 70 mètres.
A
B
C
D
E
F
Coupe A B.
Coupe C D.
Coupe E F.
10
20
30
40
50 mètres

la basse mer au moyen des aqueducs qui débouchent dans l'avant-port. En morte eau, il n'en est plus ainsi et il reste à enlever par la pompe une tranche d'eau dont la hauteur est de $1^m,90$ pour la forme n° 1, de $2^m,40$ pour la forme n° 2, de $2^m,90$ pour la forme n° 3.

Les deux écluses de chasse sont placées l'une à côté de l'autre; elles s'ouvrent, dans le bassin de la Citadelle, entre l'écluse d'amont du sas et de la forme n° 3; et dans l'avant-port, près du musoir Sud de l'écluse d'aval du sas. Chaque écluse a $6^m,20$ de largeur et 7 mètres de hauteur; elle est fermée par une porte tournante et par une paire de vannes levantes. Les portes s'ouvrent et se ferment par la seule action du courant; les vannes ont pour objet de soustraire les portes à l'agitation de l'avant-port.

Les radiers sont horizontaux et arasés à $2^m,15$ en contre-haut du zéro des cartes, sur 28 mètres de longueur à partir de la tête d'amont; puis ils s'inclinent suivant une pente régulière de manière à atteindre, à l'orifice d'aval, le niveau même du fond de l'avant-port ($1^m,65$ en contre-bas du zéro). La différence totale de niveau, de l'amont à l'aval, s'élève ainsi à $3^m,80$. Outre le bassin de la Citadelle, le réservoir d'alimentation des chasses comprend le bassin de l'Eure, le dock-entrepôt et le bassin Vauban, soit en totalité 39 hectares de superficie. D'après cela, en abaissant de 1 mètre seulement la tenue des bassins, ce qui en vive eau ne gênerait en rien la navigation, les deux écluses de chasse permettraient de jeter, à basse mer, dans l'avant-port, un volume de 390 000 mètres cubes d'eau.

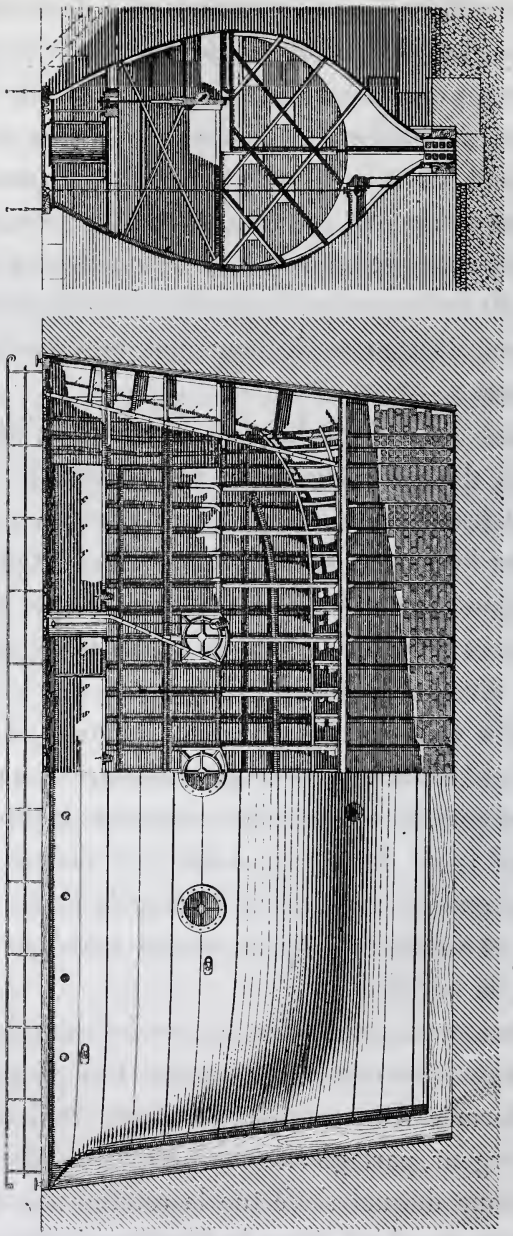
L'écluse d'aval du sas et l'écluse de communication avec le bassin de l'Eure sont traversées, chacune, par un pont

tournant métallique à une seule volée et à deux voies charretières. Chaque pont a $35^m,17$ de longueur, $6^m,94$ de largeur en œuvre, et consiste en deux poutres de tête, formant garde-corps, de hauteur croissante depuis les extrémités jusqu'au point de plus grande tension; ces poutres sont reliées transversalement par des poutrelles, renforcées de goussets et de contreventements, sur lesquelles est boulonné le plancher de bois croisé qui supporte la double voie charretière, les deux trottoirs et le bourrelet de séparation entre les deux voies.

Les portes des deux écluses du sas sont en charpente. Elles sont à doubles vantaux et formées d'un cadre en chêne dont les montants sont réunis par des entretoises en sapin. Sur les entretoises s'appuie un bordé rigide, également en sapin. Outre les tenons d'assemblage, des cours de ceintures et une double écharpe en fer forgé assurent la liaison des diverses parties de l'ouvrage.

Les portes d'amont ont $7^m,40$ de hauteur; les portes d'aval, qui ont été arasées à $0^m,50$ en contre-bas du dessus des portes d'amont, ont $9^m,25$ de hauteur totale. Afin de les mettre à l'abri des attaques des vers marins, tous les bois ont été enduits d'une triple couche de peinture à base métallique et mailletés jusqu'au niveau correspondant à la pleine mer de morte eau.

Les portes tournantes et les vannes levantes des écluses de chasse sont également en charpente. Chaque porte tournante est formée d'un vantail de $5^m,70$ de hauteur sur $6^m,16$ de largeur, partagé en deux parties inégales par l'axe vertical autour duquel s'effectue la rotation; la différence de largeur est de $0^m,06$. Dans le plus grand côté se trouve



Bateau-porte de la forme de radoub de 70 mètres.

Demi-élévation. *Demi-coupe longitudinale.* *Coupe tr^le sur l'axe.*

ménagée une ventelle tournante dont les dimensions sont calculées de telle sorte qu'en l'ouvrant la pression de l'eau devienne prépondérante sur le petit vantail de la porte principale.

Les bateaux-portes qui ferment les trois formes de la Citadelle ont été construits en tôle et cornières. Les membrures, formées de cornières, sont assemblées sur la quille et reliées par de fortes varangues, une carlingue, des ceintures longitudinales, un pont étanche, une passerelle et des croix de Saint-André. Sur les cornières, des feuilles de tôle rivées à clin constituent le bordé et assurent l'étanchéité de la coque.

Le pont étanche partage chaque bateau en deux parties distinctes. La partie inférieure, formant flotteur, contient le lest et doit être constamment à sec. Le lest est, d'ailleurs, réglé de telle sorte qu'abandonné à lui-même, le bateau flotte au niveau du pont étanche. La seconde partie peut à volonté être tenue à sec ou mise en communication avec l'eau du bassin à flot. A cet effet, deux ou trois vannes, suivant les dimensions du bateau, s'ouvrent de chaque côté de la coque, au niveau du pont étanche. Dans le même compartiment, et sous la passerelle, se trouve une caisse dont le fond est au-dessus des plus hautes marées et qui sert à recevoir l'eau destinée à faire couler le bateau.

Pour obtenir ce résultat, les vannes étant ouvertes, il suffit d'introduire de l'eau dans la caisse supérieure. Immédiatement l'équilibre est troublé ; l'eau du bassin pénètre par les vannes dans le compartiment supérieur, au-dessus du pont étanche, et le bateau s'enfonce jusqu'à ce que le poids du volume déplacé par les tôles et les cornières soit

égal au poids de l'eau introduite dans la caisse; et comme, dans le cas le plus défavorable, le volume déplacé est très peu important, il suffit, en définitive, d'une petite quantité d'eau pour échouer le bateau.

La dépense de cet ensemble d'ouvrages, en y comprenant la reconstruction du mur du quai Est de l'avant-port, ainsi que les frais d'étude et de surveillance, s'est élevée à 10 100 854f,04.

La construction a eu lieu de 1865 à 1871, sous la direction de M. Hérard, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et de M. Bellot, alors ingénieur ordinaire.

Les travaux, dont l'utilité publique a été déclarée par décret du 18 juillet 1870, comprennent: l'agrandissement de l'avant-port du côté Sud, l'achèvement des bassins de l'Eure et Vauban, la construction de la digue Saint-Jean et quelques autres ouvrages de moindre importance. Les dépenses étaient estimées à 14 millions; elles devaient être supportées moitié par l'État et moitié par la chambre de commerce (loi du 22 juillet 1870).

Les allocations budgétaires n'ayant pas permis à l'État de fournir sa part contributive en temps utile, la chambre de commerce a offert une avance de 6 millions, qui a été acceptée par une loi du 5 août 1874. Le remboursement de cette avance, avec intérêts à 4 1/2 p. o/o, a été commencé en 1875, et s'effectuera en quinze annuités au moyen de crédits portés au budget.

La chambre de commerce se couvre des sommes qu'elle a données et de la perte d'intérêts qu'elle subit, au moyen de la perception d'un droit de péage fixé à 0f,75, sans décime, par tonneau de jauge, pour les navires français

ou assimilés, et à $0^f,90$ pour les autres. Une réduction de $0^f,30$ est accordée aux navires chargés de houille, de bois de sapin ou de glace, en totalité ou dans la proportion de plus des neuf dixièmes. Sont affranchis de la taxe : les cabotiers français, les navires de toute nationalité entrés en relâche et repartant sans avoir fait d'opérations commerciales, et les navires qui, entrés sur lest, repartent sur lest.

Le tableau suivant fait connaître la situation financière des divers travaux :

DÉSIGNATION DES TRAVAUX.	MONTANT DES DÉPENSES		
	AUTORISÉES par le décret du 18 juillet 1870.	ENGAGÉES (montant des projets approuvés).	FAITES au 31 décembre 1879.
Agrandissement de l'avant-port du côté Sud.....	7 500 000^f	7 181 581^f,63	6 651 337^f,39
Établissement du grand sas de la Floride.....	1 150 000	"	"
Achèvement du bassin de l'Eure et construction de la digue Saint-Jean.....	3 250 000	5 016 062 ,03	5 016 062 ,03
Achèvement du bassin Vauban.	1 000 000	144 277 ,14	121 521 ,03
Somme à valoir ; travaux divers.	1 100 000	1 407 707 ,42	1 352 707 ,42
TOTAUX.....	14 000 000	13 749 628 ,22	13 141 627 ,87

II

AGRANDISSEMENT DE L'AVANT-PORT DU CÔTÉ SUD.

Objet des travaux. — L'agrandissement de l'avant-port a eu pour but de faciliter les évolutions des grands navires et de créer, en dehors des lignes d'accès aux

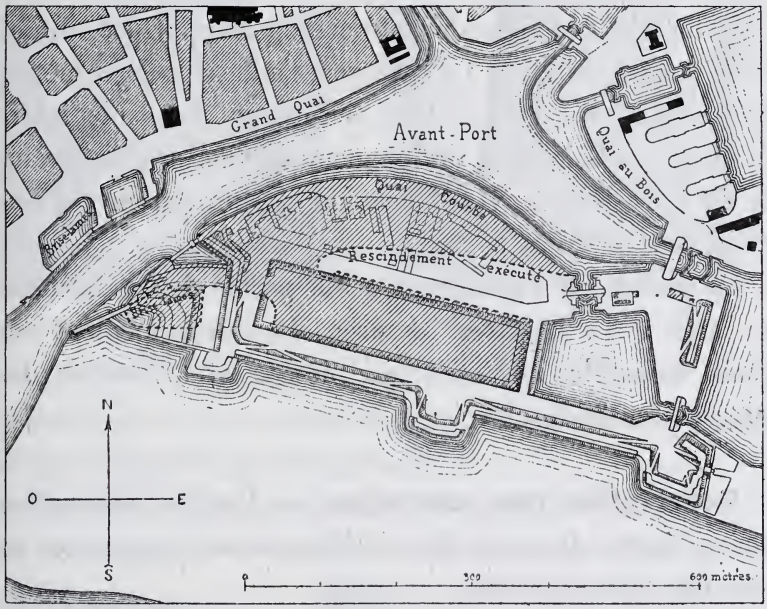
écluses, un nouvel avant-port où se tiendront les remorqueurs et les relâcheurs.

Au moment de la mer montante, le courant du flot est perpendiculaire aux jetées du port : il conserve cette direction jusqu'à ce que l'embouchure de la Seine se trouve remplie; à ce moment, il se produit dans la partie Nord de la baie un contre-courant nommé « verhaule ». Ce courant, à l'ouvert des jetées, porte au N. 65° O.; il commence à se faire sentir quarante minutes avant l'heure de la pleine mer, et persiste pendant deux heures après le plein; son intensité est de $2^{n},5$ pour une marée dont le coefficient est 100.

A l'entrée, les navires sont donc soumis à l'action de la verhaule, qui les contraint d'attaquer le port par le S. O.; mais quand ils ont l'avant engagé dans le chenal et masqué par la jetée du Sud, le courant n'agit plus que sur l'arrière, tandis que l'avant est pris par le courant réfléchi sur la jetée du Nord. Les navires étaient alors soumis à un couple qui tendait à les faire pivoter sur eux-mêmes et à les jeter sur les écluses de chasse.

Ce danger évité, et les bâtiments se trouvant à peu près parallèles aux deux jetées, ils devaient revenir au S. E. pour gagner l'écluse des Transatlantiques. Il leur fallait décrire un arc de cercle de 400 mètres de rayon; cette manœuvre était d'autant plus difficile que les navires, n'ayant que peu de vitesse et peu d'eau sous la quille, obéissaient mal au gouvernail; ils étaient de plus rejetés au Nord par le refoulement de l'eau comprise entre eux et le quai Courbe. Aussi parfois de grands steamers ont-ils échoué sur le talus en terre qui se trouve en avant du Grand quai.

L'élargissement de l'avant-port a supprimé les difficultés actuelles et les navires peuvent décrire un arc de cercle de plus de 900 mètres de rayon. De plus, de nouveaux postes de stationnement sont offerts aux relâcheurs et aux remorqueurs, et ces bateaux, dont le nombre est souvent assez grand, n'entravent plus la marche des navires entrant dans les bassins.



Dispositions générales. — Le quai Courbe a été démoli; le bassin de la Floride a été divisé par une traverse en deux parties; la plus grande, celle de l'Ouest, a été réunie à l'avant-port; une passe de 80 mètres donne accès dans ce nouvel avant-port, qui est séparé de l'ancien par un môle en maçonnerie.

Un grand brise-lames a été construit en face de ceux de

la jetée du Nord et une rampe donne accès au poulier du Sud.

Dans le projet primitif, la jetée du Sud devait être rétablie en arrière de sa position actuelle; de nouvelles propositions ont été faites pour la remplacer par une jetée en charpente à claire-voie, à travers laquelle passera une partie du courant qui remplit le port à marée montante et qui diminuera l'intensité de ce courant.

La largeur de l'ancien avant-port, dans sa partie centrale, a été portée de 90 à 185 mètres; l'annexe a 290 mètres de longueur sur 100 mètres de largeur. Le môle intermédiaire a 345 mètres de longueur et une largeur variant de 26 à 63 mètres. Il est terminé par un musoir en maçonnerie.

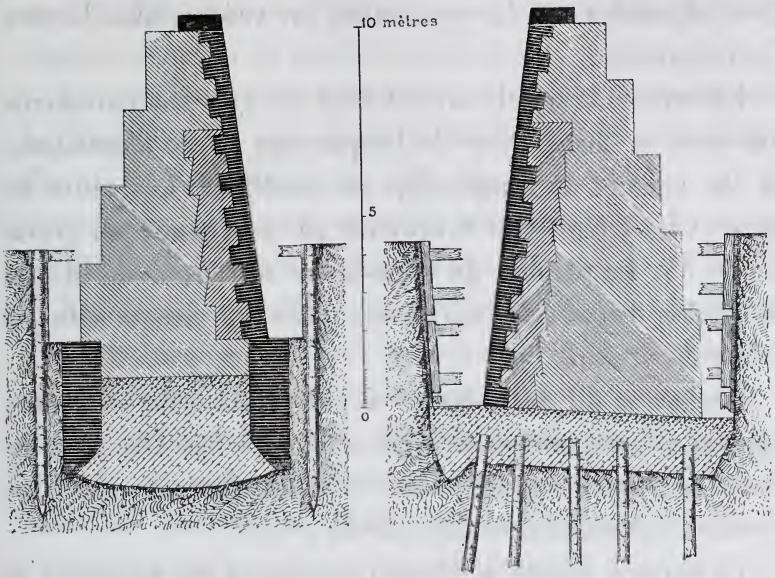
La surface de l'avant-port a été portée de 11 hectares 21 ares à 21 hectares 34 ares. Le développement des quais utilisables atteint 1 790 mètres, et la surface des terre-pleins 30 600^{mq}.

Description des ouvrages. — Dans la description qui va suivre, les cotes de nivellement sont rapportées au zéro des cartes marines.

Les murs du môle et le mur Est de l'annexe sont fondés sur pilotis. Les pieux, dont la longueur varie de 4 à 9 mètres, ont un diamètre moyen de 0^{m},30. La hauteur des murs est de 10^{m},50, non compris une couche de béton de fondation de 1^{m},50; le musoir du môle a été surélevé de 1 mètre.

Le mur Sud de l'annexe est fondé sur cadres ou puits en maçonnerie. Ces puits ont été descendus jusqu'au ter-

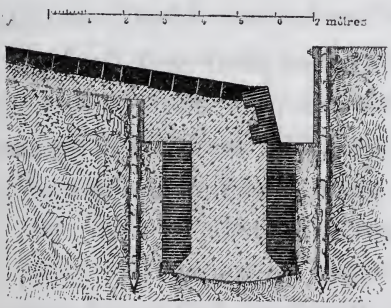
rain solide et au moins à la cote — $2^m,85$. Au-dessus de la fondation ainsi obtenue et arasée à une cote variant de



Mur Sud. Mur du môle.

$0^m,65$ à $0^m,15$, on a construit la partie supérieure du mur de quai d'après le profil normal.

Les quais s'élèvent généralement jusqu'à la cote $9^m,15$, et le seuil du brise-lames à la cote $2^m,15$. Le plafond est une surface gauche dont l'inclinaison varie de $0^m,08$ à $0^m,27$ par mètre. La chambre du brise-lames présente une largeur moyenne de 51 mètres.



Seuil du brise-lames.

Une rampe d'accès sur le poulier du Sud a été rétablie le long du fossé des fortifi-

cations; une voie pavée contourne le brise-lames et permet aux voitures d'arriver jusqu'au musoir de la jetée. Ces deux chaussées ont été construites sur voûtes, afin d'éviter les tassements.

Les murs de quai ont un fruit de 1/7. Les parements vus sont en maçonnerie de briques sur $0^m,56$ d'épaisseur, et les massifs de remplissage en moellons. Les murs de quai et les jetées sont couronnés par une assise en granit de $0^m,35$. Le plafond du brise-lames est formé de libages de $0^m,50$ d'épaisseur moyenne, posés sur une couche de béton de $0^m,30$.

L'estacade du brise-lames a 105 mètres de longueur; elle est entièrement métallique, sauf le tillac. Elle se compose de fermes espacées de 6 mètres d'axe en axe, avec poteaux intermédiaires distants de $1^m,20$.

La surface réunie à l'ancien avant-port est creusée à la cote $-2^m,35$; l'annexe n'a été déblayée que jusqu'à la cote $0^m,15$.

Le volume total des déblais extraits des fouilles s'élève à $975\,000^{mc}$, dont $294\,000^{mc}$ ont été dragués; celui des démolitions est de $85\,950^{mc}$, sur lesquels 66 060 ont été enlevés à la marée. Le nombre des pieux sera de 3 975. Le cube des charpentes provisoires pour étayement et rigoles d'épuisement est d'environ 3 355 mètres. Les maçonneries de toute nature représentent un volume de $84\,900^{mc}$, dont 25 500 exécutés à la marée.

Mode d'exécution. — Pour les déblais généraux, jusqu'à la cote $0^m,15$, on a pu s'abriter derrière des batardeaux, comme aussi pour les murs de quai du môle et de

l'annexe et la culée Est du brise-lames. Dans ce but, on a commencé par construire la traverse en terre qui divise en deux le bassin de la Floride et par fermer les écluses de chasse au moyen de murs en maçonnerie.

Le complément du brise-lames, quelques terrassements, la démolition du quai Courbe, des écluses de chasse de la Floride et des brise-lames d'Harcourt et Vidame ont été exécutés en prise à la mer. Le creusement de la surface annexée à l'avant-port s'est opéré par dragage.

Les déblais ont été faits dans d'excellentes conditions, après drainage complet, au moyen d'appareils d'épuisement très puissants. Le terrain était formé, à la partie supérieure, de sable et galets provenant de l'ancienne plage, puis, au-dessous, de sables plus ou moins argileux traversés par des bancs de tourbe. Ces sables argileux, d'épaisseur très variable, reposaient sur une couche de galets que l'on trouve sous toute la ville du Havre, à des profondeurs différentes. Dans le chantier, l'altitude de cette couche a varié de la cote $-2^{m},40$ à la cote $-14^{m},10$. Au Sud, le sable argileux disparaissait en certains endroits, et il était remplacé par un banc de sable bouillant, fluant comme de l'eau, et dont l'épaisseur était comprise entre $1^{m},10$ et $2^{m},80$.

Les murs du môle et le mur Est de l'annexe ont été fondés en fouille blindée. Les terrassements généraux ayant atteint la cote $3^{m},15$, on a ouvert, sur l'emplacement du mur, une tranchée dont les parois, à peu près verticales, étaient maintenues au moyen d'un revêtement en madriers, avec fermes en charpente composées d'étais horizontaux et de montants verticaux. Dès qu'on fut parvenu en moyenne à la cote $-3^{m},10$, on a battu les pieux et construit le

mur. Les bois employés à l'étayement des fouilles étaient enlevés au fur et à mesure de l'avancement des maçonneries : leur cube était d'environ $2^m,85$ par mètre courant.

Les ouvrages longeant les fortifications et la jetée du Sud n'ont pu être fondés d'après le même système, par suite de la présence des sables bouillants; il a fallu recourir à l'emploi de cadres ou puits.

Le déblai ayant été amené à la cote $3^m,15$, on battait deux lignes de pieux, l'une en avant, l'autre en arrière de l'emplacement que devait occuper le mur; les pieux étaient distants de $1^m,50$ dans chaque file. Des madriers cloués contre eux maintenaient le terrain en place pendant la fouille. Le déblai était arrêté un peu au-dessus du niveau des sables bouillants, puis on plaçait au fond de la fouille des cadres en charpente de dimensions variables en plan, mais de structure uniforme. Ces cadres étaient formés de trois cours de madriers superposés; ils avaient $0^m,24$ de hauteur et étaient taillés en biseau; leur largeur était de $0^m,30$ à la partie inférieure et de $0^m,60$ à la partie supérieure. Au-dessus de cette charpente, on montait une couronne en maçonnerie de briques. Chaque rang de briques était placé à $0^m,05$ en saillie sur le précédent, jusqu'à ce que le puits eût atteint son épaisseur normale.

Les mortiers ayant acquis une résistance suffisante, des ouvriers déblayaient à l'intérieur du cadre en même temps que l'on épuisait. Le puits s'enfonçait, et, lorsqu'il était arrivé au fond de la fouille, on surélevait la couronne de maçonnerie. L'opération était ainsi poursuivie jusqu'à ce que le dessous du cadre fût descendu à la profondeur qu'il fallait atteindre. Le puits était alors rempli en béton.

Afin d'arrêter les sables en arrière des murs de quai, il était nécessaire de bétonner également l'intervalle d'environ $0^m,80$ laissé entre les cadres. Pour y arriver, on enfonçait, en avant et en arrière, des panneaux de charpente et l'on déblayait dans l'espace compris entre ces panneaux et les cadres. En certains endroits, le terrain était si fluant qu'il a fallu calfater les joints des panneaux.

Les cadres mesuraient en général 6 mètres sur 6; ceux de la culée Est ont eu jusqu'à 6 mètres sur 8, tandis que ceux du seuil n'avaient que $3^m,70$ sur $5^m,70$. La largeur de la couronne était généralement de $1^m,03$, mais elle a été portée à $1^m,14$ pour les cadres de la culée Est du brise-lames, et réduite à $0^m,80$ pour ceux du seuil.

Dans la partie courbe de la jetée, les cadres ont dû être déformés : les deux faces latérales étaient dirigées suivant les rayons de la courbe, et la face antérieure se composait de deux parties droites faisant un angle très ouvert.

La traversée des fortifications a présenté des difficultés toutes spéciales. Le nouveau mur de quai se trouvait en partie sur l'emplacement de la culée Sud des canaux de chasse; il a dû être monté en deux fois et dans des conditions très délicates.

L'arrière du mur a été exécuté le premier en fouille blindée à partir de la cote $7^m,75$, et fondé sur cadres à la cote $0^m,65$. Les puits ont été descendus jusqu'à la cote $2^m,85$, soit à $3^m,90$ au-dessous des fondations des canaux de chasse et à $25^m,65$ en contre-bas de la crête du cavalier de la Floride. Les canaux de chasse ont été ensuite démolis, et la partie antérieure de la jetée établie sur cadres. Mais, à raison du peu de largeur dont on disposait, les puits n'ont

été maçonnés que sur trois côtés; le quatrième était formé par trois poutres en bois. Une palplanche empêchait l'introduction du sable par l'espace resté libre entre le cadre et l'arrière du mur déjà construit. Grâce aux précautions prises, ce mur n'a pas éprouvé le moindre mouvement.

Pour descendre un cadre de $3^m,50$, on déblayait à l'intérieur pendant un temps qui a varié de 35 à 80 heures, et qui était moyennement de 50 heures. L'enfoncement était donc d'environ $0^m,07$ par heure de travail effectif. Il fallait en moyenne 1 heure 44 minutes à un ouvrier pour fouiller et charger un mètre cube dans une benne qu'enlevait une grue à vapeur. De 11 à 16 heures étaient nécessaires pour mettre à profondeur chacun des entre-cadres.

Le volume des déblais extraits des puits a dépassé en moyenne de 24 à 25 p. o/o le cube des matériaux employés pour la construction et le remplissage des cadres et des entre-cadres. Cette différence résulte du foisonnement des déblais et des apports latéraux. Au seuil du brise-lames, qui s'exécute à la marée, les déblais représentent presque le double du cube des matériaux entrant dans la construction; cette augmentation tient aux apports de la mer, qui envahit le chantier deux fois par jour et entraîne dans les cadres beaucoup de sable et de galets.

On a employé le mortier de ciment de Portland pour les ouvrages suivants : les bétons, la maçonnerie de briques, la maçonnerie de remplissage faite à la marée au-dessous de la cote $6^m,15$, enfin la maçonnerie de remplissage faite à sec au-dessous de cette même cote et sur une épaisseur moyenne de $0^m,94$ en arrière du parement en briques. La composition du mortier est de 400 kilogrammes de

ciment pour 1^{mc} de sable. Par exception, les cadres construits à la marée et la partie inférieure de ceux qui ont été établis à l'abri des eaux, sur une hauteur d'environ $1^{m},50$, sont hourdés avec mortier plus gras. Le dosage est de 800 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable. Toutes les autres maçonneries sont faites avec mortier de chaux hydraulique de La Hève.

Antérieurement au 8 octobre 1876, jour où l'eau a été introduite dans le chantier, les épuisements s'effectuaient au moyen de trois appareils comprenant chacun deux locomobiles et deux pompes. La construction d'une partie des murs du môle a nécessité un relais composé d'une machine et d'une pompe. En outre, une locomobile et une pompe ont été spécialement employées aux cadres. Les locomobiles, de la force nominale de 18 chevaux, avaient développé plus de 30 chevaux aux essais.

Dans les conditions normales, quatre locomobiles et quatre pompes étaient constamment en marche; elles ne pouvaient être arrêtées qu'une demi-heure environ à chaque basse mer. Les autres engins servaient de rechange; mais il fallait parfois une ou deux machines de renfort, notamment pendant les grandes marées de vives eaux.

Des dispositions avaient été prises pour réduire, autant que possible, la hauteur d'ascension des eaux d'épuisement; cette hauteur a varié de 5 mètres à $13^{m},10$; mais, le plus souvent, elle était de 8 à 10 mètres.

Le nombre d'heures de chauffe des locomobiles a été de 94 948; les pompes ont fonctionné durant 89 718 heures. Le volume des eaux extraites des fouilles n'a pas été inférieur à 16 ou 17^{mc} à la minute, soit de 23 à $24\,500^{mc}$ par jour.

Les constructions et les démolitions entreprises depuis le mois d'octobre 1876 ont été faites à l'abri de batardeaux de marée. C'étaient des batardeaux arasés entre les cotes 2 et 3 mètres, noyés à pleine mer, et en arrière desquels on épuisait rapidement, dès que le niveau de la mer était inférieur à celui de leur crête. Dix locomobiles et dix pompes rotatives ont été employées à ces travaux.

Les travaux de terrassement et maçonnerie ont été reçus le 1er mars 1880; il ne reste à terminer que quelques travaux en régie, notamment la partie inférieure de la rampe d'accès au poulier du Sud.

On a commencé, dans le courant de mars, la pose de l'estacade métallique; ce travail n'a présenté aucune difficulté; les diverses pièces qui composent l'estacade ont été apportées sur la chaussée qui contourne le brise-lames; les fermes sont assemblées, et à marée basse on les pousse jusqu'au seuil du brise-lames. On les met au levage au moyen d'une chèvre placée sur les fermes déjà posées; au commencement du travail, cette chèvre était sur la culée Ouest.

Les fermes, aussitôt levées, sont réunies à leur partie supérieure par les poutres qui constituent le plancher, et sur lequel est fixé le tillac en chêne.

L'estacade comprend 171 500 kilogrammes de fers et tôles, qui ont été galvanisés pour empêcher l'oxydation.

Les projets ont été dressés et exécutés, sous la direction de MM. les ingénieurs en chef Hérard (antérieurement au 1er mars 1875) et Bellot (postérieurement au 1er octobre 1876), par M. Quinette de Rochemont, ingénieur ordinaire, avec le concours de MM. les conducteurs Delorme, Decolliveaux et Glaneur.

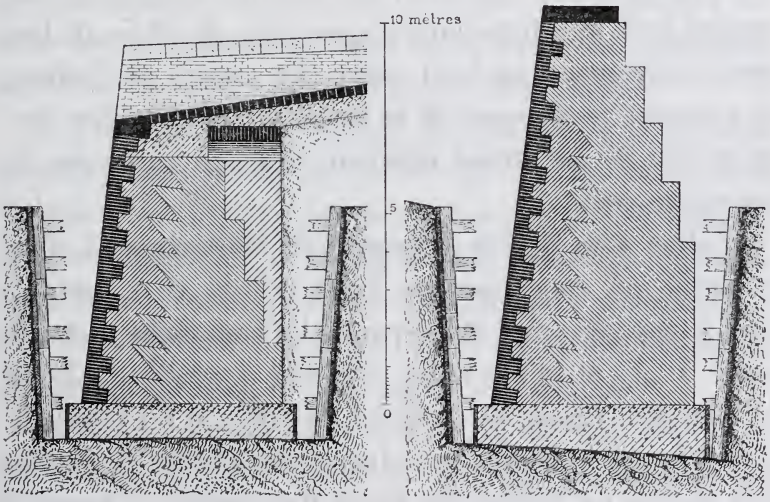
III

ACHÈVEMENT DU BASSIN DE L'EURE

ET CONSTRUCTION DE LA DIGUE SAINT-JEAN.

Description des ouvrages. — L'achèvement du bassin de l'Eure comprenait : la construction des quais Est et Sud sur une longueur totale de 647 mètres, l'enlèvement des batardeaux à l'abri desquels les murs ont été exécutés, et l'approfondissement du bassin.

Le quai Est a 457 mètres et le quai Sud 190 mètres de longueur. Tous deux sont arasés à la cote $9^m,15$; ils sont fondés sur une couche de béton de 1 mètre d'épaisseur, re-



Cale aux bois. Mur de quai.

posant directement sur le terrain naturel, à la cote $-2^m,35$ pour le mur Est et à la cote $-1^m,35$ pour le mur Sud. Le dallage formant couronnement a $0^m,35$ d'épaisseur et 2 mètres de largeur.

Une cale aux bois de 100 mètres de longueur a été placée au Sud du bassin; le mur de quai, dans cette partie, est arrêté à la cote $7^m,15$. Le plan incliné situé en arrière a $20^m,42$ de largeur avec une pente d'environ $0^m,13$ par mètre; il est revêtu d'un pavage maçonné sur une fondation en béton de $0^m,60$ d'épaisseur.

Vers l'extrémité Nord du mur Est, on a construit l'écluse d'entrée d'une forme de radoub dont l'établissement est décidé.

Cette écluse a 10 mètres de longueur au couronnement et $11^m,38$ au niveau du radier; elle se compose de deux parties : la première a $5^m,50$ de longueur au couronnement et $6^m,88$ au niveau inférieur; elle sert de chambre de manœuvre pour le bateau-porte; la seconde, de $4^m,50$ de longueur, correspond au haut radier. En arrière de l'écluse, on a amorcé les bajoyers de la forme sur une certaine longueur ($5^m,50$ au niveau inférieur et $2^m,75$ au niveau du couronnement).

L'écluse a 20 mètres de largeur au couronnement, dans la partie qui correspond au haut radier, et 21 mètres dans la chambre du bateau-porte. Le haut radier est à la cote $-1^m,35$ et le bas radier à la cote $-1^m,85$. Le béton de fondation repose sur un fond de sable; il est descendu jusqu'à la cote $-4^m,85$. Le radier, tout en béton, est revêtu d'un pavage en briques de $0^m,22$ d'épaisseur; le heurtoir est en granit.

Des aqueducs circulaires de $1^m,20$ de diamètre ont été établis dans les bajoyers, afin de permettre le remplissage de la forme; ils débouchent dans le bassin de l'Eure à la cote $1^m,75$.

Le bassin de l'Eure a été creusé à la cote — $1^m,10$ au Nord de l'écluse du Dock, à la cote — $1^m,35$ entre l'écluse du Dock et la forme de radoub, et à la cote — $1^m,65$ au Sud de la forme, sauf au pied des murs du quai Est et Sud. En avant du mur Est, il reste une plate-forme de 55 mètres de largeur à la cote — $1^m,35$, et en avant du quai Sud une plate-forme de 30 mètres de largeur à la cote — $0^m,35$. Cette dernière se raccorde avec le fond du bassin à la cote — $1^m,65$ au moyen de gradins de 5 mètres de largeur et de $0^m,20$ de hauteur.

Le volume total des déblais a été de $649\,779^{mc}$, dont 502 469 dragués pour l'enlèvement des batardeaux et l'approfondissement du bassin. Le cube des maçonneries a atteint 40 843 mètres, et celui des charpentes provisoires pour étais et rigoles d'épuisement, 5 885 mètres.

Le bassin de l'Eure, conquis en partie sur la mer, n'était protégé anciennement vers le Sud que par une estacade en charpente; le mauvais état de cet ouvrage en a nécessité le remplacement. La nouvelle digue Saint-Jean a été construite en maçonnerie; elle part de la face gauche du dernier bastion de la Floride et se dirige vers la pointe des Neiges par un alignement droit de 550 mètres de longueur.

La digue est fondée à la cote $2^m,15$ sur une couche de béton dont l'épaisseur varie de 1 à 2 mètres. Le profil du parement vu est courbe et tracé suivant un arc de cercle de $10^m,875$ de rayon; le parement postérieur est vertical. La maçonnerie est arasée à la cote $10^m,15$; elle est couronnée par un dallage en granit de $0^m,50$ de hauteur et de $1^m,20$ de largeur, en arrière duquel est un pavage smillé de $1^m,90$ de largeur, posé à bain de mortier. Un bahut en

granit de $0^m,70$ de hauteur et de $0^m,80$ de largeur existe au-dessus du dallage.

La maçonnerie de briques formant parement a $0^m,66$ d'épaisseur moyenne en avant et $0^m,45$ en arrière de la digue.

L'espace compris entre l'ancienne estacade et le nouveau mur a été remblayé avec les terres provenant des travaux d'agrandissement de l'avant-port.

Le volume des maçonneries de toute nature a atteint 19 391 mètres, dont 8 309 ont été exécutés à la marée.

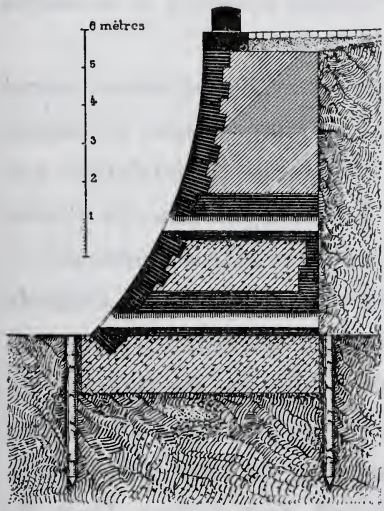
Mode d'exécution. — Les quais du bassin de l'Eure et l'écluse de la forme ont été construits à l'abri de batardeaux constitués par les anciennes rives du bassin; dans cette prévision, les talus limitant le plan d'eau avaient été disposés en avant de l'emplacement que devaient occuper les murs.

Les quais ont été fondés en fouille blindée à partir de la cote $4^m,15$. L'écluse de la forme de radoub a été faite en deux fois : on a d'abord construit en fouille blindée la partie qui correspond au mur de quai du bassin; puis on est venu en arrière compléter l'ouvrage. Un mur de maçonnerie a été établi dans l'écluse; il est destiné à servir de batardeau pendant la construction de la forme; en attendant, il permet d'utiliser cet emplacement comme mur de quai.

Le mode d'exécution et la nature des matériaux employés sont les mêmes que pour les travaux d'agrandissement de l'avant-port; la seule différence consiste dans le dosage des mortiers pour les bétons de fondation : la proportion de ciment a été portée à 500 kilogrammes par mètre cube de sable.

Les épuisements pour la construction des murs de quai étaient faits au moyen de deux locomobiles commandant deux pompes; des tuyaux posés sur les charpentes des blindages, et allant plonger dans des puisards, amenaient les eaux aux pompes; la distance des puisards aux pompes a été au maximum de 100 mètres. Le volume d'eau élevé par minute était en moyenne de 6 mètres. Trois machines de 25 à 30 chevaux chacune, commandant une pompe Letestu et deux pompes centrifuges, ont été employées pour la fondation de l'amorce de la forme de radoub. Les eaux étaient prises dans un puisard descendu à la cote — $6^{m},85$ et montées à la cote $7^{m},15$. Leur volume a varié de 6 à 18^{mc} par minute.

Pour construire la digue Saint-Jean, on a commencé par battre sur le rivage de la mer deux lignes de pieux distantes d'environ $7^{m},10$ d'axe en axe; les pieux avaient 5 mètres de longueur et $0^{m},20$ de diamètre moyen; ils étaient espacés de $1^{m},50$ dans chaque file; puis on a déblayé en maintenant les terres à droite et à gauche au moyen de madriers de $0^{m},06$ d'épaisseur, cloués sur les pieux.



Digue Saint-Jean.

La fouille ayant ainsi atteint la cote $0^{m},65$ sur 360 mètres à l'Ouest et la cote $0^{m}15$ sur le reste de la longueur,

on l'a remplie de béton jusqu'à la cote $2^m,15$; au-dessus de cette fondation, on a monté la maçonnerie jusqu'à la cote $5^m,93$. Toute la digue, à l'exception des deux parements, est en béton; le massif est traversé par trois rangées de barbacanes de $0^m,11$ de largeur et de $0^m,35$ de hauteur. Les barbacanes, dans chaque rangée, sont distantes de 10 mètres d'axe en axe; elles sont construites en maçonnerie de briques de $0^m,22$ d'épaisseur. Au-dessus de la cote $5^m,93$, la maçonnerie de remplissage en arrière du parement vu est tout entière en moellons.

Un mur en pierres sèches, allant de la cote $2^m,15$ à la cote $5^m,51$ et ayant une largeur de $2^m,50$ à la base et de 1 mètre à la partie supérieure, a été adossé à la digue; il est destiné à faciliter l'écoulement, par les barbacanes, des eaux d'égout provenant des remblais exécutés à la marée en arrière de la digue.

Toutes les maçonneries sont faites avec mortier de ciment de Portland; le dosage est de 500 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable pour les bétons de fondation au-dessus de la cote $2^m,15$, et de 400 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable pour toutes les autres maçonneries.

Des machines à vapeur, installées sur la vieille estacade Saint-Jean, mettaient en mouvement des pompes situées au pied de cet ouvrage et servaient à faire les épuisements de marée; les eaux étaient amenées aux pompes au moyen d'une conduite horizontale posée sur le terrain et dont la la longueur a atteint au maximum 250 mètres. Deux de ces machines étaient généralement en mouvement. Leur force était de 16 à 18 chevaux nominaux; elles montaient, à la minute, 10^{mc} d'eau.

Les ingénieurs qui ont dressé les projets et dirigé les travaux, sont : MM. Hérard, ingénieur en chef; Bellot, attaché au service successivement comme ingénieur ordinaire et ingénieur en chef; et MM. Quinette de Rochemont et Renaud, ingénieurs ordinaires. Parmi les conducteurs, il convient de citer MM. Goëlo, Renout, Gérard et Glaneur.

CINQUIÈME SECTION.

PHARES ET BALISES.

XV

PHARE DES TRIAGOZ.

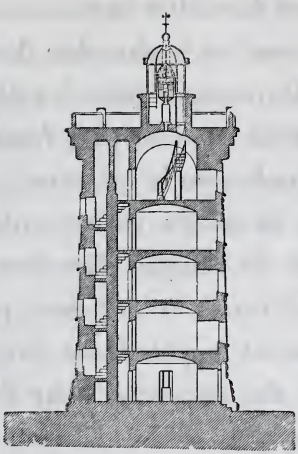
(DÉPARTEMENT DES CÔTES-DU-NORD.)

Une vue d'ensemble du phare.

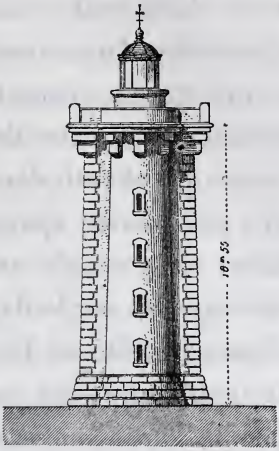
Le phare des Triagoz signale l'écueil de ce nom, situé dans la Manche, à l'Est des Sept-Iles.

Ce phare de troisième ordre est établi sur un rocher isolé en mer; mais cette base s'élève à 8 mètres au-dessus du niveau des plus hautes eaux et permettait, par conséquent, d'autres dispositions que celles des phares dont la base plonge dans la mer. Les trois figures qui suivent donnent le plan, la coupe transversale et l'élévation postérieure de l'édifice.

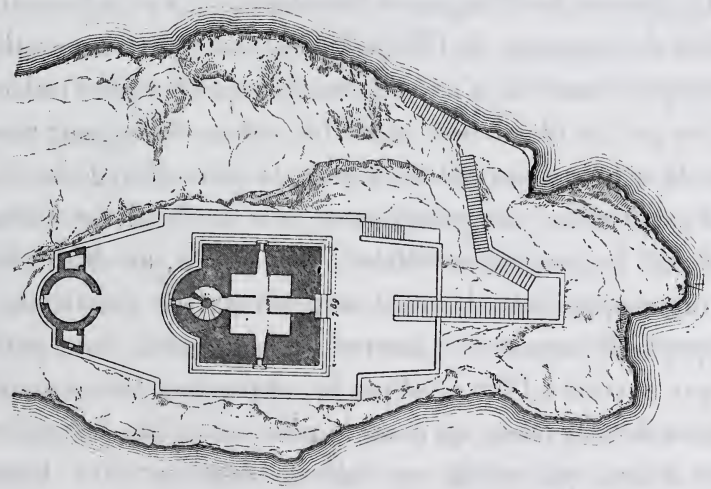
Cet édifice consiste en une tour carrée, avec cage d'escalier en saillie sur l'une de ses faces. Au niveau du sol est un vestibule accompagné d'un magasin de chaque côté, et conduisant à l'escalier. Trois chambres, dont une ré-



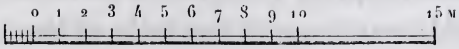
Coupe transversale.



Élévation postérieure.



Plan.



servée pour les ingénieurs, s'élèvent au-dessus du rez-de-chaussée. Elles sont voûtées en arc de cloître et sont munies de cheminées. Au sommet de la tour est la chambre de service, qui sert en même temps de magasin pour les objets redoutant les atteintes de l'humidité et d'où part l'escalier en fonte qui aboutit dans la chambre de la lanterne.

Une plate-forme épousant la forme du rocher entoure l'édifice; on y accède au moyen de rampes d'escalier qui se développent sur le flanc de la roche et ont leur point de départ du côté où l'accostage est le plus facile. Sous sa partie antérieure sont ménagés des magasins pour dépôt de bois et autres matières, et un petit réduit établi à son extrémité vient ajouter encore au phare d'utiles dépendances.

Le plateau des Triagoz est très étendu ; il a près de quatre milles de longueur, de l'Est à l'Ouest, sur environ un mille de largeur; mais on n'en voit émerger que des têtes isolées, même par les plus basses mers. Le rocher choisi pour recevoir la construction est la pointe la plus élevée du côté Sud, et limite, par conséquent, vers le Nord, le chenal que suit la navigation côtière. Il présente, au Midi, une paroi presque verticale, et il se prolonge, en s'abaissant à l'opposé, de manière à former, à mer basse, une petite crique ouverte à l'Est. C'est par là, et pendant trois à quatre heures de mer basse, qu'il est le plus accessible. La profondeur d'eau, qui est de 20 mètres, dans les plus basses mers, au pied du rocher du côté du Sud, augmente rapidement à mesure qu'on s'éloigne; le fond est de roche et les courants de marée sont d'une telle violence sur ce point qu'on a dû renoncer à l'espoir, qui avait été conçu, d'y

maintenir un navire au mouillage pendant la belle saison, pour servir au logement des ouvriers.

On a donc dû installer une cabane dans la partie répondant au vide de la tour, immédiatement après avoir dérasé le sommet de la roche. Elle entourait un mât vertical placé au centre de la construction et armé d'une corne à sa partie supérieure pour le montage des pierres. Le débarquement des matériaux s'opérait au moyen de mâts de charge semblables installés sur le rocher, l'un à l'entrée de la petite crique du Nord, l'autre sur l'extrémité Sud-Est de la roche. Il s'opérait avec promptitude toutes les fois que l'état de la mer permettait l'accostage. Le dessin ci-après donne une vue du chantier pendant l'exécution des travaux.

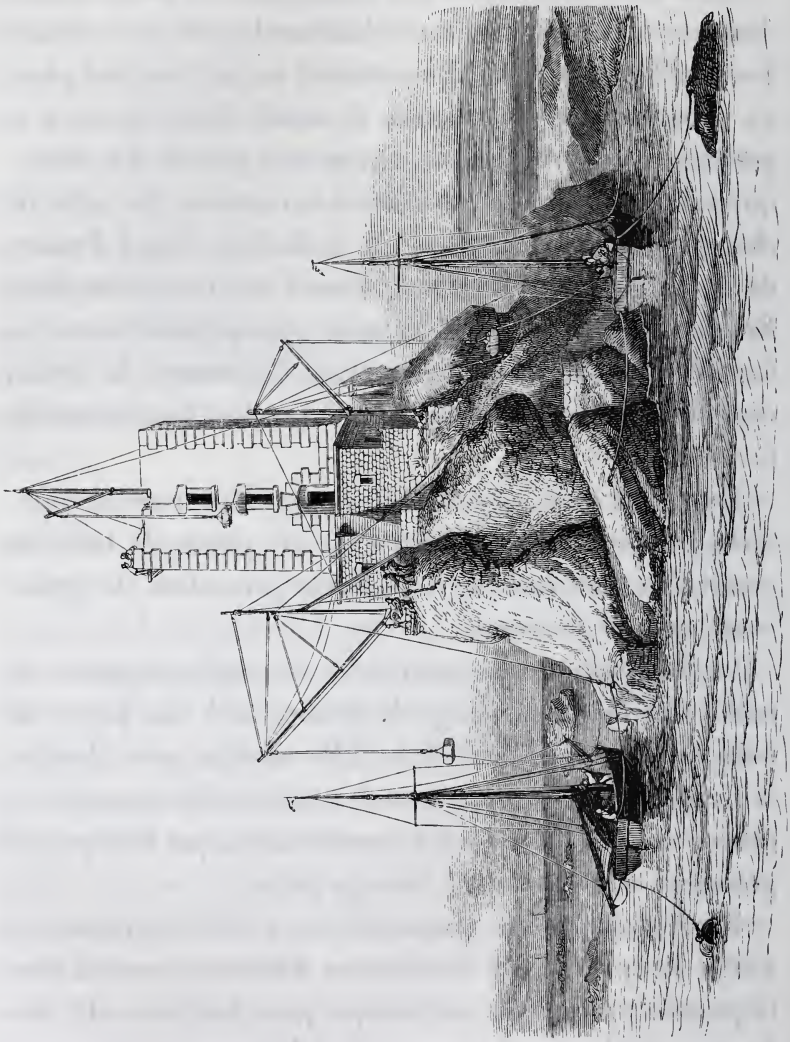
La construction est exécutée en moellons avec chaînes, socles, encadrements et corniches en pierre de taille de granit. Les parements de ces pierres présentent de vigoureux bossages rustiqués.

Les moellons de parement entre les angles en pierre de taille sont en granit rouge de Ploumanac'h. La pierre de taille provient de l'Ile-Grande. Elle est d'un gris bleuâtre et d'un grain fin. Ce contraste de couleurs fait ressortir vigoureusement les lignes de la construction, que bien peu de personnes sont appelées à voir de près.

Les travaux ont été commencés en 1861 et terminés en 1864. Ils ont présenté de sérieuses difficultés, surtout dans la première campagne, où, chaque jour, l'atelier a dû être ramené du chantier à terre, à 21 kilomètres de distance.

La violence de la mer est telle que, depuis l'achèvement de l'édifice, les lames ont plusieurs fois couvert en grand

toute la plate-forme inférieure et projeté l'embrun jusqu'à la hauteur de la plate-forme supérieure.



Néanmoins la construction a pu être terminée sans accident et sans qu'aucun des ouvriers ait été blessé.

La dépense totale s'est élevée à 300 000 francs environ.

Les travaux ont été exécutés en régie, sous la direction de MM. Dujardin, ingénieur en chef, et Pelaud, ingénieur ordinaire, rédacteur du projet, et sous la surveillance assidue de MM. Abgrall, conducteur, et Perron, chef d'atelier.

XVI

PHARE DE LA CROIX.

(DÉPARTEMENT DES CÔTES-DU-NORD.)

Une vue d'ensemble du phare.

La grande passe de l'entrée du Trieux (Côtes-du-Nord) est signalée par deux feux, qui sont établis, l'un sur les hauteurs de Bodic, à gauche de l'embouchure, l'autre sur une roche isolée en mer à 2 000 mètres du rivage, la roche La Croix. L'un et l'autre phare, n'étant appelés à envoyer de rayons lumineux que dans un espace angulaire très restreint, consistent en réflecteurs paraboliques qui sont installés dans les chambres supérieures, devant des fenêtres ouvertes dans la direction de la passe. Les feux sont clignotants et ne peuvent être confondus avec aucun de ceux des environs.

La roche La Croix, dont le sommet dépasse à peine le niveau des plus hautes mers d'équinoxe, présente, entre des faces presque verticales de tous côtés, un plateau irrégulier dans lequel on a pu strictement inscrire la base circulaire de la tour. Celle-ci est divisée en quatre étages surmontés d'une plate-forme formant le seul promenoir dont puissent disposer les gardiens. Le rez-de-chaussée sert de vestibule et de magasin; le premier étage, de cuisine;

le second, de chambre pour les deux gardiens; le troisième renferme la chambre de service et l'appareil d'éclairage.

L'escalier a dû être reporté dans une tourelle accolée à la grande tour et fondée à 5 mètres en contre-bas du plateau sur lequel celle-ci repose.

Afin de laisser la partie la plus élevée de l'édifice dans l'axe même indiqué par les feux, on a arrêté l'escalier à la hauteur du troisième étage ; on ne pénètre donc sur la plateforme supérieure que par une échelle mobile établie dans la chambre de service.

L'édifice est tout entier construit en pierre de taille de granit provenant de l'Ile-Grande. Les matériaux ont été préparés dans un chantier installé au fond du petit port de Loguivy, à l'Est de l'entrée du Trieux. Un chemin de fer les amenait à un embarcadère spécial, où ils étaient chargés sur des gabares qui allaient mouiller au pied même de la roche La Croix. Ce trajet ne présentait pas de difficulté, car la mer est rarement dangereuse dans ces parages; mais la violence des courants est telle, que l'aller et le retour ne pouvaient se faire qu'à des heures déterminées de la marée. On ne pouvait soumettre à ces conditions le transport des ouvriers chargés de la construction ; ils ont été installés sur un petit navire mouillé à demeure près du rocher. Une fois seulement, cette embarcation a rompu ses amarres et a été obligée de se réfugier à Loguivy.

Le système de montage des matériaux, qui est d'une grande simplicité, a déjà été employé dans plusieurs circonstances analogues.

Un mât de charge avec corne oblique, établi sur une saillie de rocher du côté du chenal où accostaient les gabares, prenait les matériaux à bord et les déposait par un mouvement tournant sur quelques pointes dressées en

plate-forme. Un autre mât semblable était installé dans l'intérieur de la tour du phare, et fixé à l'aide d'une charpente intérieure qui s'élevait successivement sur les naissances de la voûte de chaque étage, au fur et à mesure de la construction.

Ce mât était placé, non au centre de la tour principale, mais plus près de l'axe de la tour de l'escalier. De cette manière, les matériaux repris sur la plate-forme de dépôt pouvaient être apportés, par la rotation de la corne, sur l'une ou l'autre tour, fort près du lieu de pose. De plus, cette disposition, en laissant libre l'axe central de la tour, a permis d'y installer un appareil de vérification de pose formé d'un rayon mobile autour du centre, qui était repéré du haut en bas de la construction par un fil à plomb.

Les travaux de maçonnerie, commencés en mai 1865, ont été terminés à la fin de 1866. Ils n'ont éprouvé de temps d'arrêt que par suite des tempêtes de cette dernière année qui ont, pendant de longs intervalles, complètement interdit l'arrivée des approvisionnements de pierres de taille.

Sauf la fourniture et la préparation des matériaux, les travaux ont été entièrement exécutés en régie, sous la direction de MM. Dujardin, ingénieur en chef, et de la Tribonnière, ingénieur ordinaire, et sous la surveillance assidue de M. le conducteur Beaugrand.

XVII

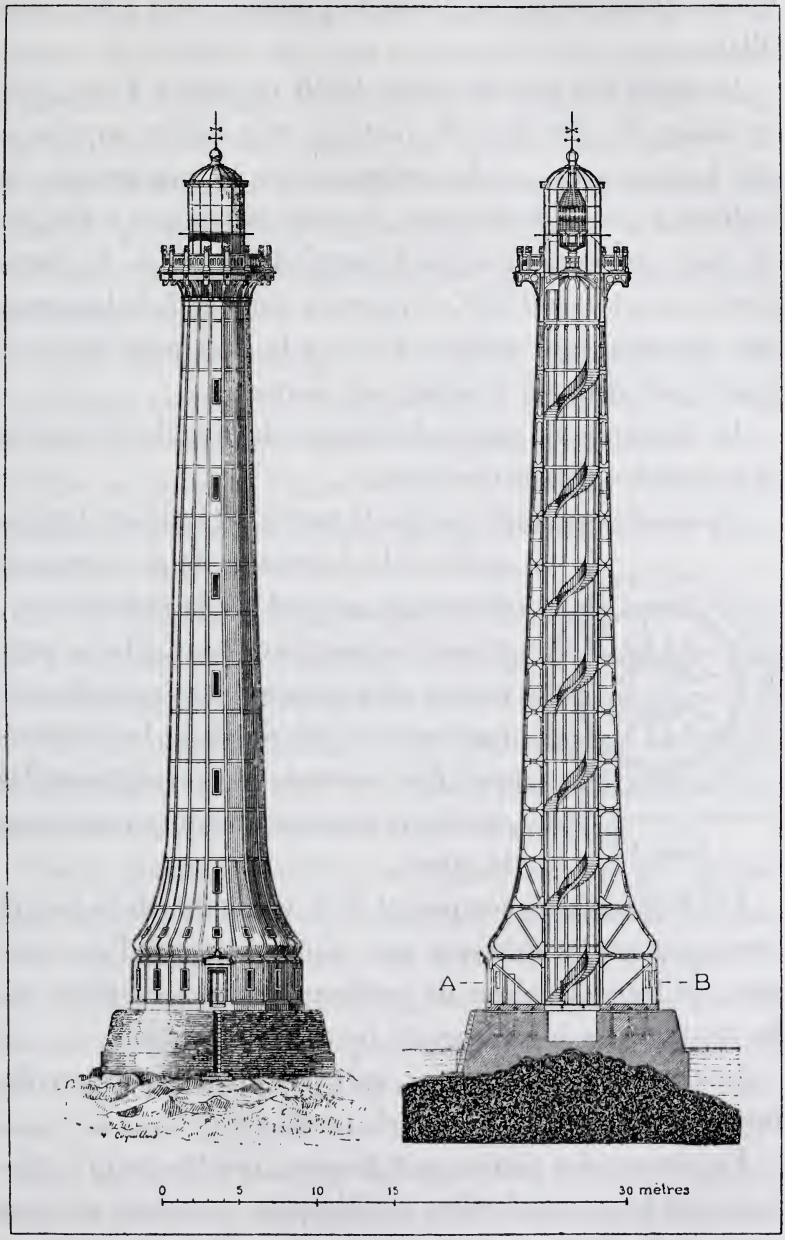
PHARE DES ROCHES-DOUVRES.

(DÉPARTEMENT DES CÔTES-DU-NORD.)

Une vue d'ensemble du phare.

Le plateau des Roches-Douvres est le plus avancé au Nord des innombrables écueils qui rendent si dangereuse la navigation des côtes de Bretagne. Il est situé à peu près à égale distance entre l'île de Bréhat et l'île de Guernesey, à 27 milles marins environ au large du port de Portrieux.

La nécessité d'établir un phare sur ce point était reconnue depuis longtemps; mais la construction d'une haute tour en maçonnerie, dans des parages où la mer est habituellement très grosse parce que les courants de marée y sont de grande intensité, devait présenter beaucoup de difficultés et exiger par suite des dépenses considérables, alors surtout qu'on ne pouvait disposer que de bateaux à voiles, qui, obligés de prendre par le travers, à l'aller comme au retour, des courants qu'ils n'auraient pu surmonter, eussent été fréquemment condamnés à des voyages infructueux. Les constructions en fer et la navigation à vapeur ont paru résoudre le problème et, dans sa séance du 24 janvier 1862, la Commission des phares a proposé de signaler les

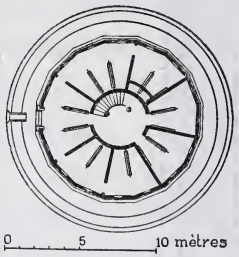

A
B
0
5
10
15
30 mètres

Roches-Douvres par un phare de premier ordre à feu scintillant.

La roche sur laquelle il est établi est située à peu près au milieu du côté Sud du plateau ; elle s'élève au niveau des hautes mers, et le soubassement en maçonnerie de l'édifice a $2^{m},10$ de hauteur. La tour métallique a $48^{m},30$ de hauteur depuis son pied jusqu'au niveau de la plateforme supérieure et $56^{m},15$ jusqu'au sommet de la lanterne. Son diamètre, qui est de $11^{m},10$ à la base pour le cercle inscrit, est réduit à 4 mètres au sommet.

Le foyer de l'appareil d'éclairage domine de 53 mètres le niveau des plus hautes mers.

Un escalier en fonte occupe le centre de l'édifice; les magasins et les logements de gardiens sont distribués au pied de la construction, et sont surmontés de deux galeries intérieures où pourraient être recueillis des naufragés et où couchent les ouvriers que des circonstances exceptionnelles appellent à passer quelques jours dans le phare.



Coupe AB.

Les logements se composent d'un vestibule, dans lequel sont arrimées les caisses à eau, d'un magasin, d'une cuisine, de trois chambres de gardiens et d'une chambre réservée pour les ingénieurs en tournée d'inspection.

Une soute à charbon est ménagée dans l'épaisseur du massif au-dessous de la cage de l'escalier.

La plupart des phares métalliques exécutés jusqu'à présent sont formés de feuilles de tôle plus ou moins épaisses qui sont rivetées entre elles. Ce système n'a pas paru devoir

être adopté ici : en premier lieu, parce qu'il fait reposer la solidité de l'édifice sur une enveloppe qui, grandement exposée à l'oxydation, ne peut être de longue durée, surtout si l'entretien est négligé; en second lieu, parce que la pose de rivets et le mode de construction exigent des ouvriers spéciaux et des échafaudages difficiles à établir sur une roche de dimensions restreintes. On s'est donné pour conditions :

1° De rendre l'ossature de l'édifice indépendante de l'enveloppe extérieure, de la mettre à l'abri des embruns de mer, qui sont une cause énergique d'oxydation, d'en faciliter la visite et l'entretien, et de réduire autant que possible l'étendue des surfaces qui pourraient retenir l'humidité;

2° De disposer la construction de telle sorte que la tour pût s'installer sans échafaudage montant de fond, et sans qu'il fût nécessaire de poser un seul rivet sur place.

On s'est attaché d'ailleurs à ne pas admettre de pièces de dimensions telles qu'il en résultât des difficultés d'embarquement, d'arrimage à bord ou de montage.

Seize grands montants, composés chacun de quinze panneaux sur la hauteur, constituent l'ossature de la construction. Chaque panneau est formé de fers à simple T, assemblés, consolidés et rivetés de manière à être parfaitement solidaires et à ne pas se prêter à la déformation sous les plus fortes actions qu'on puisse prévoir. Ces panneaux se boulonnent les uns sur les autres; et des entretoises, appliquées tant au dedans qu'au dehors et également boulonnées, maintiennent les montants dans leurs positions. Enfin, sur ces dernières entretoises et sur les

faces extérieures des montants s'appuient les feuilles de tôle constituant l'enveloppe, dont les joints sont couverts par des plates-bandes en fer, et qui sont fixés par des boulons.

Chaque montant porte à son sommet une console en fonte, au-dessus de laquelle est établie en encorbellement la plate-forme qu'exige le service extérieur de la lanterne, et repose à son pied sur un grand patin également en fonte que saisissent six boulons de scellement en fer, et qui est noyé dans un massif de béton.

Des cloisons en briques entourent les chambres; celles de l'extérieur sont tenues à $0^m,05$ de l'enveloppe en tôle, de manière à abriter efficacement. Une aire en béton élève le sol à $0^m,40$ au-dessus du couronnement du patin en fonte, et un plancher en maçonnerie, reposant sur de petites solives en fer, forme le plafond.

Une chambre de service est ménagée au sommet de la tour; elle communique avec la chambre de la lanterne par une échelle de meunier en fonte, ainsi qu'il est d'usage.

L'escalier de la tour est en fonte avec limons en fer. Le limon extérieur est boulonné contre les montants qu'il rencontre, et il contribue ainsi à la rigidité du système. Une demi-révolution de l'escalier correspond exactement à la hauteur d'un panneau, soit $3^m,20$. La porte d'entrée est exécutée en chêne avec ferrements en bronze; tous les châssis des fenêtres sont en fer laminé.

Les fers à T, pliés suivant les angles du polygone, pour former l'arête extérieure des panneaux, ont $0^m,18$ sur $0^m,10$. Ils pèsent 31 kilogrammes le mètre. Ceux qui constituent les trois autres côtés des panneaux ont $0^m,20$ sur

$0^m,10$ et pèsent 35 kilogrammes par mètre. Les panneaux des trois premiers rangs ont chacun une écharpe en diagonale, laquelle est composée d'un fer méplat de $0^m,14$ sur $0^m,014$, assemblé, au moyen de rivets, avec deux fers à T de $0^m,13$ sur $0^m,065$. Cette écharpe, rivets compris, pèse 44 kilogrammes par mètre.

Les entretoises sont formées de fer méplat de $0^m,08$ sur $0^m,16$, du poids de $9^{kg},689$ par mètre.

L'épaisseur de la tôle diminue depuis l'étage inférieur, où elle est de $0^m,010$, jusqu'au sommet, où elle est réduite à $0^m,007$.

Les couvre-joints sont exécutés en fer plat de $0^m,011$ d'épaisseur.

Voici quelle a été la dépense totale de la construction :

Tour métallique proprement dite, fer et fonte, 317 328 kilogrammes	223 986f,76
Menuiserie, serrurerie, main courante en bronze, peinture	33 788,57
Lanterne, appareil d'éclairage, sonnerie pour les temps de brume	85 576,21
Emballage et transport	19 819,81
Outils, apparaux de montage, installations diverses	17 086,02
Travaux de fondation et de montage	225 108,80
Dépense totale	605 357,37

Un feu provisoire avait été allumé sur la tour pendant l'exécution des travaux et s'élevait en même temps qu'elle.

Le feu actuel fonctionne depuis le 6 août 1869.

Ingénieurs pour la tour métallique : MM. Léonce Reynaud, inspecteur général des Ponts et Chaussées, directeur du service des phares ; et Émile Allard, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Constructeur : M. Rigolet, à Paris.

Ingénieurs pour les travaux de fondation et de montage sur la roche : MM. Dujardin et Pelaud, ingénieurs en chef ; de la Tribonnière, ingénieur ordinaire ; Bertin, conducteur des Ponts et Chaussées, et Le Bozec, employé des Ponts et Chaussées.

XVIII

PHARE DU FOUR.

(DÉPARTEMENT DU FINISTÈRE.)

Une vue d'ensemble du phare.

Le phare du Four est construit à l'extrémité Nord du chenal de ce nom, sur la roche la plus avancée en mer, à 2 milles à l'Ouest du petit port d'Argenton. Cette roche, formée d'un granit très dur, s'élève à 2 mètres environ au-dessus du niveau des hautes mers, et il devient impossible de l'accoster dès que la mer est tant soit peu agitée. Dans les gros temps, les lames y déferlent avec une telle violence qu'elles s'élèvent au-dessus de la lanterne du phare, et ont brisé des volets de $0^{m},06$ d'épaisseur, qui fermaient, pendant la période d'exécution des travaux, les étroites fenêtres de la tour.

Les dépôts et les chantiers de préparation des pierres étaient établis dans le port d'Argenton, d'où partait, quand les circonstances de mer paraissaient favorables, la flottille qui transportait sur la roche les ouvriers et les matériaux de construction. Des échelons, diversement disposés et distribués, permettaient aux ouvriers de gravir les parois abruptes et glissantes, et une grue très simple, n'offrant presque pas de prise à la mer, servait au débarquement du matériel.

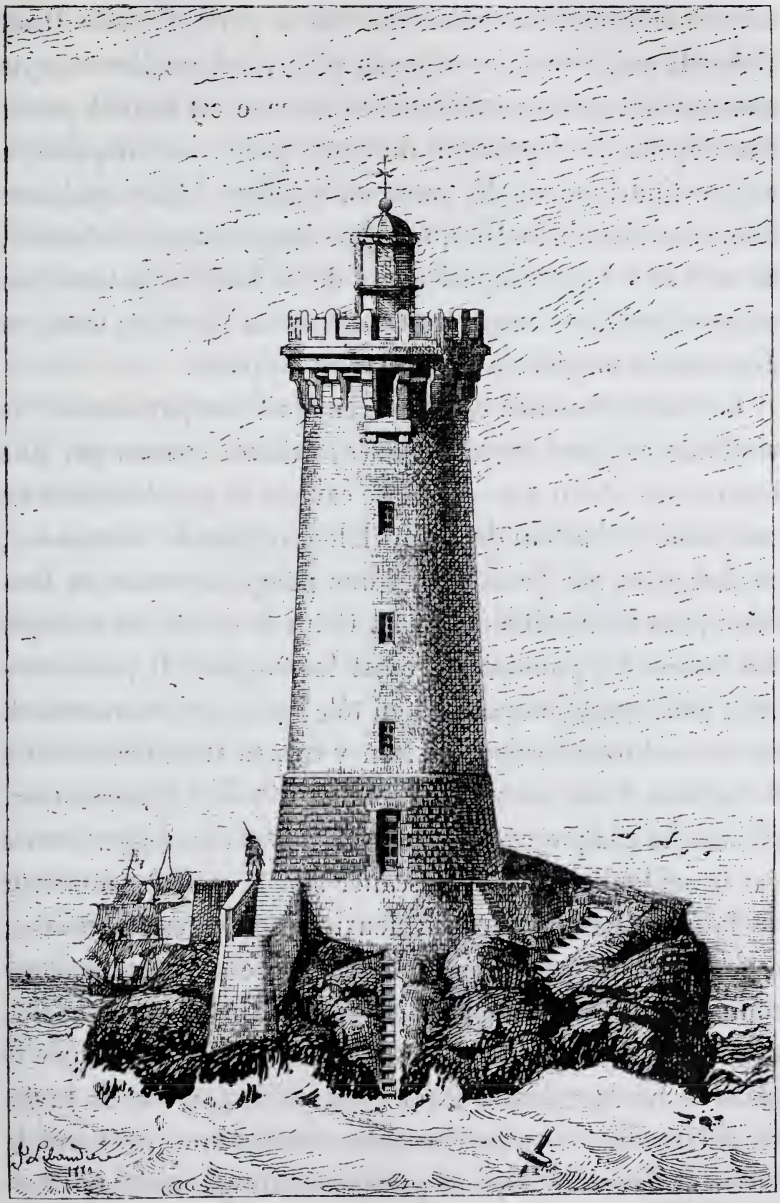
Le phare consiste en une tour d'un diamètre intérieur de $4^m,50$, établie sur un massif de maçonnerie arasé à 2 mètres au-dessus des pleines mers d'équinoxe, et encastré dans le rocher, dont il enveloppe les parties les plus hautes. Le mur a $2^m,75$ d'épaisseur à la base et $1^m,18$ au sommet. Au-dessus de la corniche de couronnement, dont le larmier est soutenu par seize consoles, s'élève un parapet composé de dalles de $0^m,20$ d'épaisseur assemblées dans des pilastres.

La tour s'élève à $22^m,70$ au-dessus du massif de la base; à cette hauteur, elle est surmontée d'une murette polygonale à dix pans, en tôle, de $2^m,40$ de diamètre, murette qui supporte la lanterne. Le plan focal dépasse de 28 mètres le niveau des plus hautes mers.

Les maçonneries sont exécutées en moellons de granit posés à bain de mortier de ciment de Portland, avec parement en pierres de grand appareil.

La déclivité très prononcée de la roche, vers le Sud, a commandé les plus grandes précautions dans l'implantement du phare. Le rocher a été profondément entaillé partout, en redans concentriques inclinés vers le centre de la tour, et de nombreux goujons en fer, de $0^m,07$ de diamètre, y ont rattaché les premières assises de la maçonnerie. Des crampons de même métal relient entre elles toutes les pierres de l'assise du cordon, et une vigoureuse ceinture, également en fer, est encastrée au-dessus des consoles de la corniche. Les pilastres du parapet sont maintenus à leur pied par des dés en bronze.

La tour se compose d'un rez-de-chaussée surmonté de cinq étages. Le rez-de-chaussée et les quatre premiers étages



sont mis en communication par un escalier en pierre, commençant au bout du couloir qui suit la porte d'entrée. Droit d'abord, puis circulaire à noyau plein, cet escalier compte quatre-vingt-quatorze marches et sa cage est formée partie aux dépens de l'épaisseur du mur, partie aux dépens du vide cylindrique de la tour; un mur de faible épaisseur l'isole des chambres. Du quatrième étage, auquel il s'arrête, on accède à l'étage supérieur, et de là dans la lanterne, au moyen d'escaliers suspendus exécutés en fer et en fonte, et disposés de manière à occuper peu de place.

Le rez-de-chaussée est divisé en trois compartiments : le vestibule et deux caveaux dallés, éclairés chacun par une lucarne de $0^m,50$ sur $0^m,25$. Le caveau de gauche renferme une soute à charbon de 5 000 kilogrammes de contenance, se chargeant par l'escalier, et une pompe aspirante et foulante pour l'alimentation d'eau. Celui de droite est le dépôt des huiles. Au premier étage est le magasin. Il peut recevoir, dans vingt-deux caisses en tôle, un approvisionnement de 5 000 litres d'eau douce; on y trouve aussi deux soutes à charbon d'une contenance totale de 2 000 kilogrammes, placées de chaque côté de la porte, dans les angles formés par la saillie de la cage d'escalier sur le cylindre intérieur de la tour. La chambre du deuxième étage est la cuisine; le fourneau y est placé dans une niche surmontée d'une coulisse de $0^m,30$ de largeur sur $0^m,45$ de profondeur, ménagée dans le mur du phare et se prolongeant jusqu'à la plate-forme supérieure. Dans cette coulisse se loge le tuyau en cuivre du fourneau. Les pans coupés que présente la saillie de l'escalier servent à établir deux placards. Le troisième étage forme la chambre à coucher, contenant deux

lits et deux placards analogues à ceux de la cuisine. Au quatrième étage est la chambre de la trompette à vapeur, que surmonte la chambre de service formant le cinquième étage. Le rez-de-chaussée et les deux premiers étages sont voûtés, ainsi que le cinquième; la voûte du rez-de-chaussée est cylindrique; celles des autres étages sont sphériques. Toutes sont en briques de Bristol, sauf la voûte du cinquième, qui, traversée par la pénétration de l'escalier de service, est tout entière en granit. Au troisième et au quatrième étage, dans le but de gagner de l'espace, on a substitué aux voûtes une charpente formée de sept poutres en tôle entretoisées, et servant de sommiers à de petites voûtes en briques.

La porte d'entrée du phare et les fenêtres extérieures sont exécutées en chêne enduit d'huile de lin cuite. Les fenêtres intérieures, les parquets, les bâtis des lambris, des portes des chambres ou des armoires, les plinthes, les cimaises, sont en chêne ciré. Les panneaux sont en sapin également ciré. Les châssis des lucarnes des caveaux et des deux premières fenêtres extérieures de l'escalier sont garnis de verres à hublots, comme ceux qu'on emploie à bord des navires.

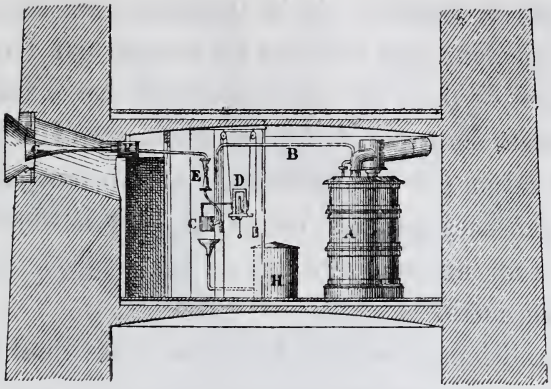
Tous les ouvrages de serrurerie sont confectionnés en bronze, la plupart sur modèles spéciaux.

Les trompettes, auxquelles on a recours pour suppléer les phares dans les temps de brume, sont habituellement mises en action par de l'air qui a été comprimé dans un grand réservoir au moyen d'une machine à vapeur. Ici, où la place faisait défaut, on a adopté une nouvelle disposition imaginée par M. le professeur Lissajoux. L'appareil, qui est

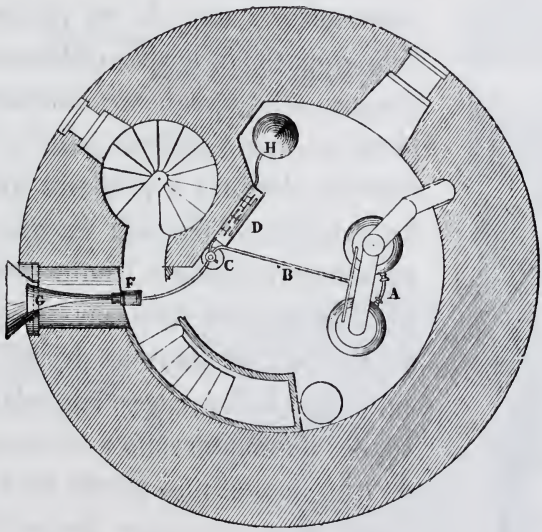
nettement représenté, en plan et en coupe, sur les deux dessins ci-après, se compose de deux chaudières à vapeur verticales accouplées (système Field), d'une force totale de 4 chevaux; d'une trompette avec appareil d'entraînement d'air par jet de vapeur; d'un mécanisme de distribution mû par la vapeur, destiné à ouvrir et à fermer périodiquement la communication des chaudières avec la trompette, de façon que le son se produise à raison d'un coup par cinq secondes; et d'une horloge commandant le distributeur de vapeur de ce mécanisme.

La trompette se fait entendre au dehors à travers un pavillon métallique logé dans une ouverture circulaire pratiquée à l'O. S. O. dans le mur de la tour. La fumée du combustible se dégage par un tuyau en cuivre qui va se greffer sur le tuyau du fourneau de la cuisine, dans la coulisse ménagée à cet effet. Les chaudières ont la pression nécessaire à la mise en marche, vingt minutes au plus après l'allumage des feux.

Les chaudières sont alimentées à l'eau douce; leur consommation, avec le rythme adopté pour la trompette, est d'environ 25 litres par heure. L'eau est approvisionnée au moyen de la pompe aspirante et foulante placée dans le caveau Ouest du phare, laquelle, puisant l'eau douce dans les bateaux accostés à la roche, la refoule dans les vingt-deux caisses en tôle placées au premier étage, dont la capacité est de 1 500 litres pour l'eau destinée aux gardiens, et de 3 750 litres pour l'eau destinée aux chaudières, qui peuvent ainsi être alimentées pendant cent cinquante heures de travail au moins, sans que l'approvisionnement soit renouvelé. L'eau des caisses est montée à la bâche d'alimen-



Coupe verticale.



Plan.

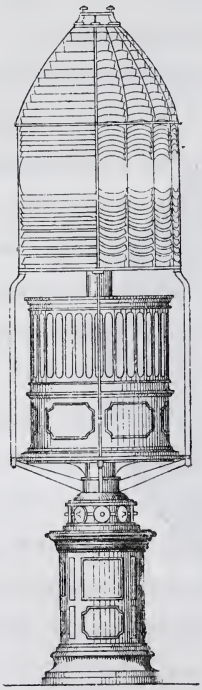
A. Chaudières accouplées.
B. Tuyau de conduite de la vapeur.
C. Robinet de fonctionnement de la trompette.
D. Horloge actionnant ce robinet.
E. Appareil d'entraînement d'air.
F. Trompette.
G. Pavillon de la trompette.
H. Réservoir de l'eau de condensation.

Échelle de $0^m,01$ pour 1 mètre.

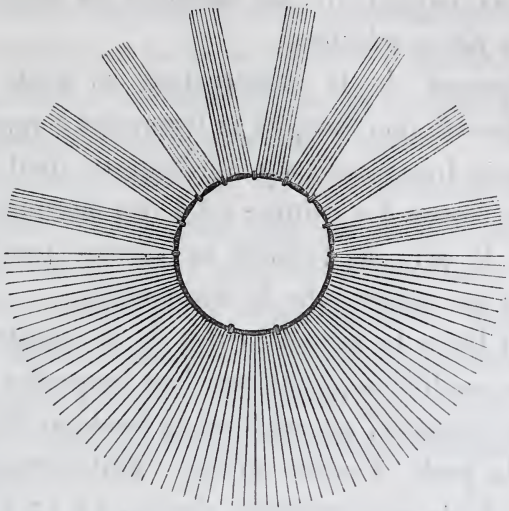
tation, dans la chambre de la trompette, au moyen d'un appareil injecteur que l'on met en marche par l'ouverture d'un robinet de prise de vapeur placé sur les chaudières.

Les phares sont très multipliés sur la côte Ouest du Finistère, à raison des difficultés et de l'importance de la navigation dans ces parages, et il était essentiel de donner à celui du Four un caractère qui ne permît de le confondre avec aucun autre.

L'appareil lenticulaire de troisième ordre dont le phare est pourvu est illuminé par une lampe à trois mèches, et il se compose de deux parties, occupant chacune une demi-circonférence. L'une de ces parties est un demi-appareil de feu fixe ordinaire; l'autre comprend huit panneaux annulaires complets, occupant chacun $\frac{1}{16}$ de la circonférence et destinés à produire huit éclats. La rotation s'effectuant en une minute, on aperçoit pendant trente secondes un feu fixe de 224 becs, ayant $16^{mm},7$ de portée, et, pendant les trente secondes suivantes, huit éclats se succédant à 3 secondes 3/4 d'intervalle avec une intensité de 940 becs et une portée de $21^{mm},6$.

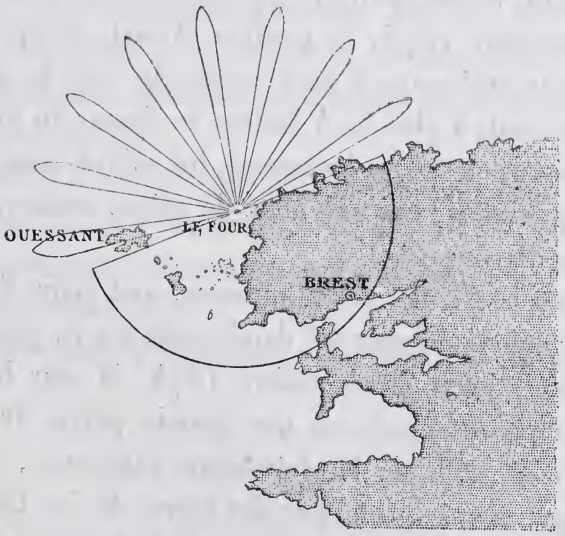


La figure ci-contre donne l'élévation de l'appareil; les deux figures qui suivent donnent, la première un plan indiquant la direction des rayons lumineux; la deuxième, la courbe des portées; il suffit de faire tourner cette dernière autour de son centre pour se rendre compte des apparences que ce



Plan indiquant la direction des rayons lumineux.

Échelle de $0^m,02$ pour 1 mètre.



Courbe des portées.

Échelle de $0^m,005$ par 4 milles marins.

feu offre aux navigateurs. Ce caractère est désigné sous le nom de *feu fixe et scintillant.*

Les dépenses de la construction se sont élevées à 256 000 francs, non compris la trompette à vapeur, qui a coûté 31 000 francs, et l'appareil optique, dont le prix est de 22 000 francs. Le volume total des maçonneries étant de 920^{mc}, le prix de l'édifice ne revient pas à plus de 280 francs par mètre cube de maçonnerie.

Pendant toute la période active de la construction, et malgré les conditions périlleuses dans lesquelles cette construction s'exécutait, on avait eu le bonheur de n'avoir à déplorer la perte d'aucun ouvrier. Malheureusement, de graves accidents sont survenus depuis. Le 27 avril 1873, une embarcation stationnant contre la roche, par beau temps, fut enlevée par une lame de fond (lame sourde); elle chavira, et trois ouvriers qui la montaient furent noyés. Le 2 novembre 1876, le gardien Wimel, occupé sur la plate-forme extérieure à fixer contre la tour la corde de débarquement, à plus de 4 mètres au-dessus du niveau de la mer, par beau temps également, fut enlevé, sous les yeux de ses camarades, par une lame de même nature, et emporté par le courant.

D'autres accidents, moins funestes, sont venus faire voir encore combien la mer est dangereuse sur ce point. Dans les premiers jours de décembre 1874, la mer brisait la porte du phare et enlevait une grande partie du dallage en pierre de taille de la plate-forme extérieure, coulé en ciment pur et cramponné par des barres de fer. Le 9 mars 1876, la mer brisait les vitrages de la lanterne dont les éclats, projetés à l'intérieur, venaient écorner les verres et

les cuivres de l'appareil. Il fallut, pour sauver cet appareil, tout le courage et toute la présence d'esprit des gardiens, qui parvinrent à remonter le vitrage malgré l'effet du vent et les masses d'eau projetées par la mer.

Par gros temps de N. O., le phare disparaît littéralement dans l'écume, et l'on peut dire que la mer est plus forte peut-être sur ce point que sur aucun autre du littoral breton. Si néanmoins la construction du phare n'a pas présenté d'aussi énormes difficultés que celle du phare d'Ar-Men, par exemple, c'est que la grosse mer y est moins continue, et que, d'autre part, la roche est plus rapprochée de la terre.

L'appareil d'éclairage a été exécuté par MM. Henry-Lepaute fils.

Le projet de cet appareil a été dressé, sous la direction de M. l'inspecteur général Léonce Reynaud, par M. Émile Allard, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, avec l'aide de M. Dénéchaux, conducteur principal faisant fonctions d'ingénieur ordinaire.

L'édifice a été projeté et exécuté par MM. Planchat, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et Fénoux, ingénieur ordinaire; et les chantiers ont été dirigés par M. le conducteur Bouillon.

La trompette à vapeur est due à MM. Lissajoux et Flaud.

XIX

PHARE D'AR-MEN.

(DÉPARTEMENT DU FINISTÈRE.)

L'île de Sein, située à l'extrémité occidentale du département du Finistère, se prolonge dans la direction de l'Ouest par une suite de récifs qui s'abaissent à mesure qu'ils s'éloignent, et s'étendent à près de 8 milles de distance de l'île. Les uns élèvent leurs cimes au-dessus des plus hautes mers, d'autres couvrent et découvrent alternativement ; la plupart sont toujours submergés. Ils constituent une sorte de barrage dont la direction est à peu près normale à celle des courants de marée, et la mer y brise presque constamment avec une violence extrême. Cette singulière formation géologique, connue sous le nom de « Chaussée de Sein », est tristement célèbre parmi les navigateurs et avait préoccupé la Commission qui fut chargée, en 1825, d'élaborer le programme de notre éclairage maritime.

La solution adoptée à cette époque, et il était impossible alors de proposer mieux, consista à élever deux phares de premier ordre : l'un sur la pointe du Raz, l'autre dans l'île de Sein, pour jalonner la direction de la chaussée. Les navigateurs sont en dehors des dangers et savent de quel côté, quand ils voient les feux à l'ouvert l'un de l'autre, et ils sont prévenus, dès que ces points lumineux sont près de se montrer sur la même verticale, qu'ils doivent se tenir à grande distance au large pour éviter de tomber sur les

écueils. Mais cette distance, rien ne leur permet de l'apprécier; et d'ailleurs il n'est pas besoin d'une brume bien épaisse pour que les phares ne portent pas jusqu'à la limite des dangers et perdent par conséquent toute efficacité. La Chaussée de Sein n'a donc pas cessé d'être le théâtre de douloureux sinistres; le système d'éclairage dont elle a été dotée n'a eu pour effet que d'en réduire le nombre, et notre navigation, qui trouve aujourd'hui tant de sécurité sur les autres points du littoral, s'est plainte à plusieurs reprises de cet état de choses.

En avril 1860, la Commission des phares demanda que la question fût examinée de savoir s'il ne serait pas possible de construire un phare de premier ordre sur l'une des têtes de roches émergentes les plus rapprochées de l'extrémité de la chaussée. Son avis fut approuvé le 3 juin suivant, et les premières études à faire sur place furent confiées à une commission composée d'ingénieurs et d'officiers de marine. En juillet de la même année, cette commission avait fait un examen sérieux des circonstances locales; elle avait reconnu que trois têtes de roches émergent dans les grandes marées près de l'extrémité, lesquelles portent les noms de Madiou, de Schomeur et d'Ar-Men; que les deux premières découvrent à peine, et que la troisième s'élève à $1^{m},50$ au-dessus des plus basses mers. Mais les dimensions d'Ar-Men, que l'état de la mer n'avait pas permis d'accoster, lui ayant paru insuffisantes pour l'assiette d'un grand phare, en même temps qu'il semblait impossible de descendre sur cet écueil, si favorable que pût se montrer l'état de la mer, elle concluait en proposant de s'établir sur la roche Neurlach, à 5 milles en dedans des écueils les plus éloignés.

Cette solution fut repoussée par la Commission des phares comme n'étant pas de nature à améliorer l'état actuel des choses autant que l'exigeaient les intérêts de la navigation, et l'Administration de la marine fut priée d'ordonner une reconnaissance hydrographique approfondie de l'extrémité de la chaussée.

Diverses circonstances retardèrent l'exécution de ce travail. En 1866, M. l'ingénieur hydrographe Ploix fut envoyé sur les lieux, et s'il ne put recueillir tous les renseignements désirables, il permit cependant à la Commission des phares d'arrêter un programme. M. Ploix concluait à une construction sur Ar-Men. « C'est une œuvre excessivement « difficile, presque impossible, disait-il; mais peut-être faut-il « tenter l'impossible, eu égard à l'importance capitale de « l'éclairage de la chaussée. »

Les courants qui passent sur la Chaussée de Sein sont en effet des plus violents; ils s'élèvent au delà de huit nœuds dans les grandes marées, donnent naissance, même par les temps les plus calmes, à un fort clapotis et rendent la mer très grosse dès que la brise pousse dans une direction opposée à la leur. Aucune terre n'abrite la roche contre les vents compris entre le Nord et l'E. S. E. en passant par le Sud, et elle n'est accostable que par de très faibles brises contenues entre le Nord et l'Est.

Mouiller un feu flottant à l'extrémité de la chaussée avait été reconnu impossible, tant à cause de la grande profondeur d'eau qu'eu égard à la nature du fond, qui est parsemé de têtes de roches sur lesquelles s'enroulerait la chaîne de retenue. On ne pouvait songer non plus à établir sur ce point une construction métallique reposant directement sur

l'écueil : le percement de trous profonds, de $0^m,18$ à $0^m,20$ de diamètre, qu'exigerait le scellement des montants, serait une opération des plus difficiles et de bien longue durée; les principaux plans de clivage de la roche étant verticaux, il serait à craindre qu'elle ne résistât pas aux ébranlements qu'elle aurait à supporter; enfin, il serait presque impossible de débarquer des pièces de fer, nécessairement lourdes et difficiles à manier, et l'on serait exposé à en perdre plusieurs avant de parvenir à les mettre en place. La Commission des phares émit en conséquence l'avis, dans sa séance du 29 novembre 1866, qu'il fallait essayer d'établir un massif en maçonnerie sur la roche Ar-Men, en lui donnant des dimensions telles qu'il pût servir ultérieurement de base à un phare.

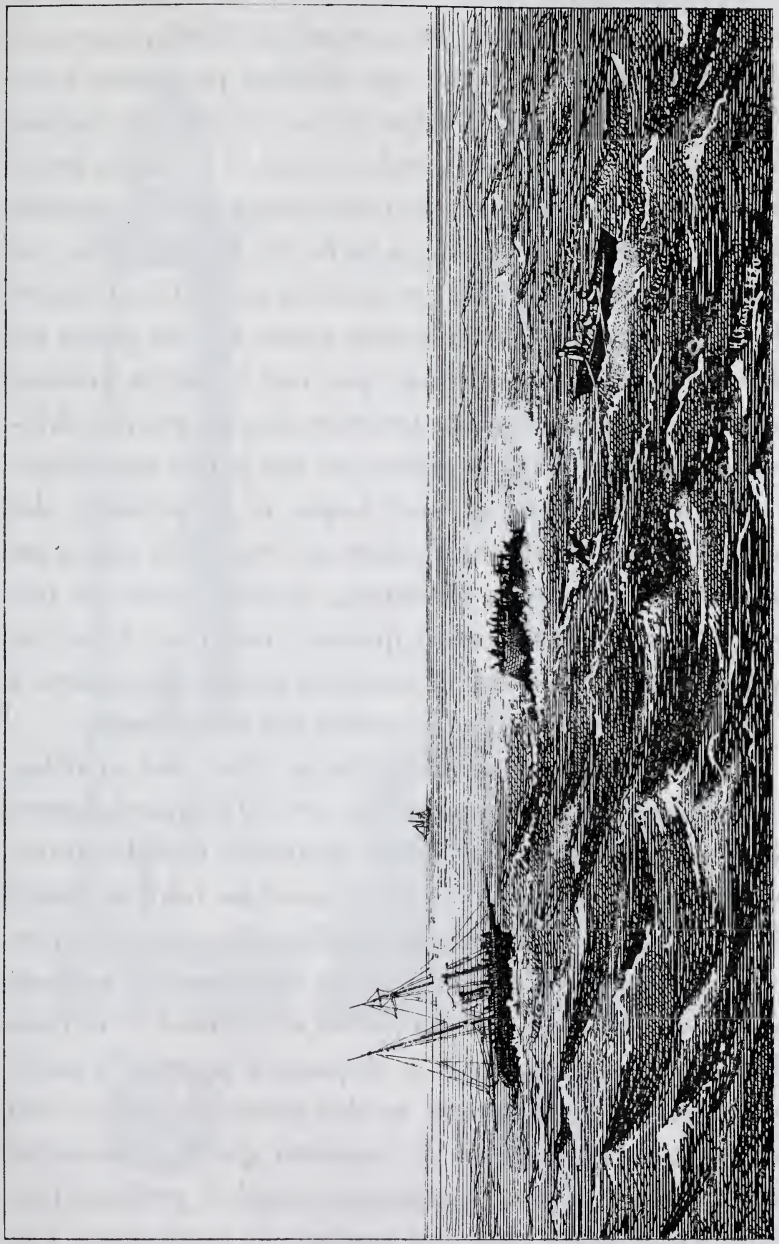
Ni la commission de 1860, ni les ingénieurs hydrographes, ni les ingénieurs du département, ni leurs marins, ni le directeur du service des phares n'étaient encore parvenus à descendre sur la roche. M. Ploix n'avait pas pu s'en approcher à moins de 15 mètres; mais M. l'ingénieur Joly avait réussi à la ranger de plus près, et les dessins qu'il avait pris, et complétés sur les indications des pêcheurs de l'île de Sein qui l'accompagnaient, permettaient de présenter un système de construction à titre de point de départ. On savait que la roche avait une largeur de 7 à 8 mètres au niveau des basses mers, sur une longueur de 12 à 15 mètres; que sa surface était fort inégale; qu'elle était divisée par de profondes fissures, et que, presque accore du côté de l'Est, elle s'inclinait en pente douce à l'opposé. Bientôt le syndic des gens de mer de l'île annonça qu'une nouvelle tentative faite par lui dans des circonstances favo-

rables avait été couronnée de succès, et il envoya un échantillon qui montra que la roche est formée d'un gneiss assez dur, sauf en quelques points où il y a décomposition.

Le mode de construction auquel on s'arrêta est le suivant : percer dans la roche, sur tout l'emplacement que doit couvrir l'édifice, des trous de fleuret de $0^m,30$ de profondeur, espacés de mètre en mètre environ, et quelques autres en dehors de cette limite : ces derniers, appelés à recevoir des organeaux pour faciliter les accostages ou tenir des haubans; les premiers, destinés au scellement de goujons en fer ayant pour objet, à la fois, de fixer la maçonnerie au rocher et de faire servir la construction elle-même à relier entre elles les diverses parties de cette roche fissurée, et à consolider ainsi une base qui n'inspirait qu'une confiance limitée. Il était dit en outre que d'autres goujons verticaux et de vigoureuses chaînes horizontales en fer seraient introduits dans la maçonnerie au fur et à mesure qu'elle s'élèverait, de manière à s'opposer à toute disjonction.

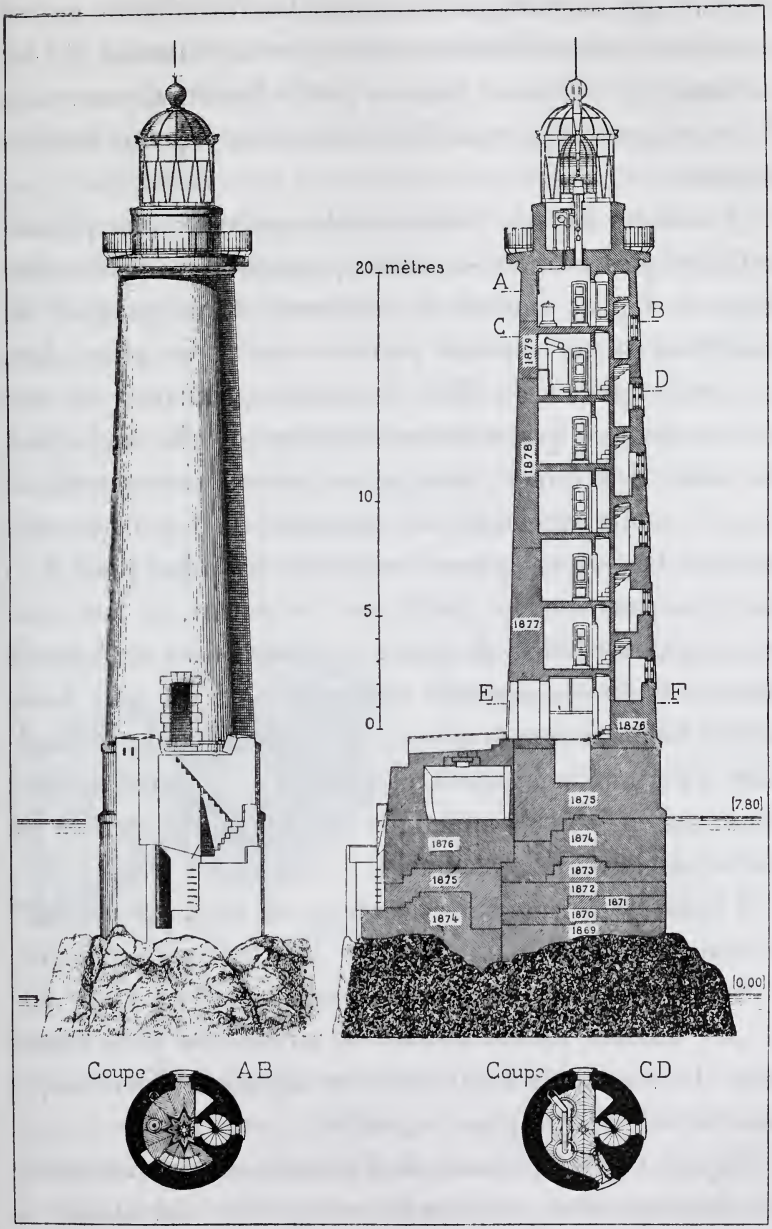
Pour le percement des trous, on s'adressa aux pêcheurs de l'île de Sein, dont l'industrie s'exerce au milieu de toutes les roches de la chaussée, et qui étaient, par conséquent, mieux que personne à même de profiter de toutes les occasions favorables. Après bien des difficultés, ils acceptèrent un marché à forfait, l'Administration leur fournissant les outils et des ceintures de sauvetage.

Ils se mirent résolument à l'œuvre en 1867. Dès qu'il y avait possibilité d'accoster, on voyait accourir des bateaux de pêche; deux hommes de chacun débarquaient, munis de leur ceinture de liège, se couchaient sur la roche, s'y



cramponnant d'une main, tenant de l'autre le fleuret ou le marteau, et travaillaient avec une activité fébrile, incessamment couverts par la lame, qui déferlait par-dessus leurs têtes. L'un d'eux était-il emporté, la violence du courant l'entraînait loin de l'écueil contre lequel il se serait brisé; sa ceinture le soutenait, et une embarcation allait le prendre pour le ramener au travail. A la fin de la campagne, on avait pu accoster sept fois; on avait eu en tout huit heures de travail et quinze trous étaient percés sur les points les plus élevés. C'était un premier pas vers le succès. L'année suivante, on se trouvait en présence de plus grandes difficultés, puisqu'il fallait se porter sur des points qui découvraient à peine, mais on avait acquis de l'expérience; des prix plus forts accrurent l'ardeur au travail, la saison fut favorable, on eut seize accostages, dix-huit heures de travail, et l'on parvint à percer quarante nouveaux trous; on put même exécuter les dérasements partiels nécessaires à l'établissement de la première assise des maçonneries.

La construction proprement dite fut entreprise en 1869. Des goujons en fer galvanisé, de $0^{m},06$ d'équarrissage et de 1 mètre de longueur, furent implantés dans les trous, et l'on maçonna d'abord en petits moellons bruts et ciment de Parker-Medina. Il fallait, en effet, une prise des plus rapides, car on travaillait au milieu des lames qui venaient se briser sur la roche et qui parfois arrachaient de la main de l'ouvrier la pierre qu'il se disposait à placer. Un marin expérimenté, adossé contre un des pitons du rocher, était au guet, et l'on se hâtait de maçonner quand il annonçait une accalmie, de se cramponner quand il prédisait l'arrivée d'une grosse lame. Les ouvriers, le conducteur, l'in-



Phare d'Ar-Men.

génieur qui encourageait toujours les travailleurs par sa présence, étaient d'ailleurs munis, comme l'avaient été les pêcheurs, de ceintures fournies par la Société de sauvetage des naufragés, et d'espardilles destinées à prévenir les glissements.

Toutes les fois que l'état exceptionnel de la mer présentait quelques chances de débarquement, une petite chaloupe à vapeur portant le personnel et la quantité de matériaux qu'on espérait pouvoir mettre en place dans la marée, partait de l'île, de manière à arriver en vue de la roche vers quatre heures de jusant, et elle remorquait les canots d'accostage; mais on ne trouvait pas toujours au large le calme sur lequel on comptait, et la journée était perdue. Quand on pouvait accoster, on débarquait à la main les pierres et les petits sacs de ciment, et l'on avait soin, avant de bâtir, de piquer à vif la surface sur laquelle devait s'établir la nouvelle maçonnerie. Il est sans doute inutile d'ajouter que le ciment était employé pur; on le gâchait à l'eau de mer; on n'a commencé à employer de l'eau douce qu'en 1877, quand on est arrivé aux parties du phare qui doivent être habitées.

A la fin de la campagne de 1879, on avait exécuté 25^{mc} de maçonnerie, que l'on retrouva intacts l'année suivante.

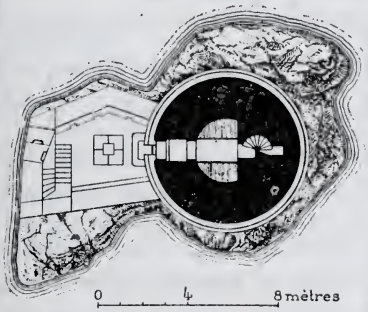
Aujourd'hui, le cube des maçonneries s'élève à 859^{mc},65, la tour domine de 22 mètres le niveau des plus hautes mers. Le succès de l'entreprise est assuré, et l'on compte pouvoir terminer le phare en 1881.

Depuis 1871, le ciment de Portland, dont la résistance à la décomposition par l'eau de mer paraît bien établie, a été substitué au ciment Parker, qui ne présente pas le

même mérite, et l'on compte préserver les maçonneries du pied de la construction par des rejointoyements exécutés en même matière et peut-être par une enveloppe continue.

Des expériences faites sur l'adhérence que les pierres du pays contractent avec le mortier ayant fait reconnaître que la roche amphibolique de kersanton était la meilleure de toutes sous ce rapport, comme sous beaucoup d'autres d'ailleurs, elle a été employée exclusivement à l'exécution des maçonneries. Les moellons de parement sont smillés, ceux de remplissage sont dans l'état où les fournit la carrière; tous sont de petites dimensions. Des goujons, des tirants et des ceintures en fer galvanisé sont noyés dans les maçonneries, afin de prévenir les disjonctions.

D'après le programme récemment adopté, le phare sera de second ordre, à feu scintillant; on élèvera son foyer à 28^{m},80 au-dessus du niveau des plus hautes mers. On eût dépassé cette limite et admis un appareil de premier ordre, si l'on n'avait été arrêté par l'insuffisance du diamètre à la base. Il fallait s'attacher à assurer la stabilité de la construction.



Coupe A B.

Le massif plein qui constitue le soubassement se prolonge jusqu'au niveau des hautes mers avec le diamètre de 7^{m},20 auquel la largeur du rocher a obligé de se restreindre, et avec celui de 6^{m},90 sur les trois mètres suivants. Le diamètre intérieur des chambres varie de 3 mètres dans le

bas à $3^m,40$ dans le haut, au moyen de retraites successives, et l'épaisseur du mur passe de $1^m,70$, au niveau de la porte d'entrée, à $0^m,80$ au-dessous de la corniche de couronnement. Il y aura sept étages dans la hauteur de l'édifice, dont l'un sera consacré à l'appareil sonore destiné à signaler la position dans les temps de brume.

Le tableau ci-après fait connaître, en reproduisant quelques-uns des chiffres déjà donnés, les principaux faits relatifs aux travaux exécutés à partir de 1867 :

ANNÉES.	ACCOSTAGES.	HEURES PASSÉES sur la roche.		CUBE DE MAÇONNERIE exécuté			EXHAUSSEMENT ANNUEL DE LA TOUR.	HAUTEUR TOTALE à la fin de chaque année.		DÉPENSE par année.	PRIX MOYEN du mètre cube.
		par année.	par accostage.	par année.	par accostage.	par heure.		au-dessus du rocher.	au-dessus des plus hautes mers.		
										francs.	francs.
1867...	7	$8^h,00^m$	$1^h, 8^m$	"	"	"	"	"	"	8 000	
1868...	16	18 ,00	1 , 8	"	"	"	"	"	— $4^m,40$	21 005	2 156
1869...	24	42 ,10	1 ,45	$25^m,05$	$1^m,04$	$0^m,60$	$0^m,60$	$0^m,60$	— 3 ,80	25 000	
1870...	8	18 , 5	2 ,15	11 ,55	1 ,44	0 ,64	0 ,60	1 ,20	— 3 ,20	26 336	2 289
1871...	12	22 ,10	1 ,50	23 ,40	1 ,95	1 ,05	0 ,60	1 ,80	— 2 ,60	17 000	726
1872...	13	34 ,20	2 ,38	54 ,55	4 ,20	1 ,62	0 ,60	2 ,40	— 2 ,00	40 000	727
1873...	6	15 ,25	2 ,34	22 ,00	3 ,67	1 ,43	0 ,40	2 ,80	— 1 ,60	62 000	2 818
1874...	18	60 ,10	3 ,20	115 ,30	6 ,41	1 ,91	2 ,00	4 ,80	+ 0 ,40	71 800	623
1875...	23	110 ,55	4 ,49	203 ,00	8 ,83	1 ,82	3 ,00	7 ,80	+ 3 ,40	76 000	375
1876...	23	162 ,45	7 , 5	128 ,00	5 ,56	0 ,78	3 ,20	11 ,00	+ 6 ,60	80 000	625
1877...	30	261 ,00	8 ,42	120 ,00	4 ,00	0 ,46	5 ,70	16 ,70	+ 12 ,30	90 000	750
1878...	30	207 ,30	6 ,55	125 ,00	4 ,16	0 ,60	7 ,20	23 ,90	+ 19 ,50	100 000	800
1879...	* 10	62 ,00	6 , 12	31 ,80	3 ,18	0 ,51	2 ,50	26 ,40	+ 22 ,00	120 000	3 373
TOTAUX et MOYENNES.	220	1,022 ,30	4 ,39	859 ,65	3 ,91	0 ,84	2 ,40			737 136	857

* Des mauvais temps exceptionnels ont régné pendant tout l'été de 1879; la campagne a été désastreuse.

L'étude de ce tableau permet d'apprécier combien sont rares les jours où le travail est possible et combien les chances de mer ont ici une influence prédominante, puisque, dans l'année 1869, au début de la construction, alors que l'accostage était le plus difficile, on a pu descendre sur la roche plus souvent que dans chacune des sept années qui ont suivi, et cela malgré l'amélioration que l'avancement du travail apportait chaque année dans les conditions d'accostage.

Le même tableau permet également de se rendre compte des diverses phases que la construction a traversées.

En 1874, on put installer sur la roche un mât de charge et faciliter ainsi le débarquement des matériaux. La hauteur à laquelle on était parvenu, tout en permettant de séjourner plus longtemps à chaque marée, rendait en outre le travail moins périlleux et plus facile; enfin, on n'avait encore à exécuter que des maçonneries de blocage. Aussi on arriva, en 1874 et 1875, à faire près de 2^{mc} par heure, et le prix moyen du mètre, qui avait atteint près de 3 800 francs en 1873, s'abaissa à 375 francs en 1875.

A partir de 1876, les conditions d'accostage et de séjour s'améliorent encore; mais il faut élever les matériaux à une hauteur de plus en plus grande, et l'on arrive désormais à des maçonneries de sujétion dont l'exécution exige beaucoup de temps, à raison de la difficulté d'installer les apparaux et d'employer un nombreux personnel sur l'espace singulièrement restreint dont on dispose.

Les résultats des années 1877 et 1878 font bien ressortir ces nouvelles conditions. Le nombre et la durée des accostages dépassent tous les résultats précédents; mais le

cube exécuté par heure n'est plus que de $0^{m},46$ et $0^{m},60$, et le prix moyen du mètre cube s'élève à 750 et 800 francs.

Quant à l'année 1879, elle a été désastreuse. Le temps ayant été pendant tout l'été exceptionnellement mauvais, on n'a pu faire que $31^{mc},80$ de maçonnerie, et le prix du mètre s'est élevé à un chiffre considérable. La moyenne de ce prix depuis le commencement des travaux est de 857 francs.

Si l'on calcule le prix du mètre de hauteur de la tour dans l'état actuel, on arrive au chiffre de 28000 francs environ, tandis que le prix moyen du mètre de hauteur des phares isolés en mer, construits en France jusqu'à celui d'Ar-Men, n'avait été que de 11000 francs.

Le dessin qui est exposé représente la tour lorsqu'elle sera terminée et indique l'état des maçonneries exécutées jusqu'à ce jour.

Ce travail a été conçu et arrêté, en ce qui est essentiel, par M. Léonce Reynaud, directeur du service des phares. Il a été exécuté, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Planchat d'abord, puis sous celle de M. l'ingénieur en chef Fénoux, par MM. les ingénieurs Joly, de 1867 à 1868; Cahen, de 1869 à 1874; Mengin, de 1875 à 1877; et de Miniac, depuis 1878. La surveillance des chantiers a été confiée à M. le conducteur principal Lacroix, en 1869 et 1870, et à M. le conducteur Probesteau, à partir de 1871.

On regrette (car il n'y aurait que justice à le faire) de ne pouvoir ajouter à ces noms ceux de ces braves marins et ouvriers bretons, qui, inconscients de leurs titres à l'admiration, ont, à force d'énergie et de dévouement, assuré le succès d'une entreprise plus hardie, plus téméraire, pourrait-on dire, qu'aucune de celles du même genre.

XX

TOUR-BALISE DE LAVEZZI.

(DÉPARTEMENT DE LA CORSE.)

L'écueil de Lavezzi, situé dans les bouches de Bonifacio, entre la Corse et la Sardaigne, à 1 800 mètres au Sud de l'île de Lavezzi (France) et à 7 000 mètres au N. O. de l'île de Razzoli (Sardaigne), présente un danger sérieux pour la navigation. Il est formé, à sa partie supérieure, d'un plateau incliné dans lequel on peut inscrire une circonférence de $6^{m},50$ de diamètre et dont les cotes de profondeur, au-dessous des mers moyennes, varient entre $2^{m},30$ et 6 mètres. Du côté du N. O., la paroi du rocher est verticale sur environ 8 mètres de hauteur.

L'existence de cet écueil sous-marin, placé au milieu de la passe, et pour ainsi dire sur la route des navires, avait donné lieu à de nombreux accidents, dont le plus terrible est le naufrage de *la Sémillante*. Partie le 14 février 1855 de Toulon, sous le commandement du capitaine de frégate Gabriel Jugan, cette frégate se rendait en Crimée; elle avait à bord 350 marins et 400 soldats. Le lendemain, elle traversait les bouches de Bonifacio par une tempête affreuse, dont les marins de Bonifacio gardent encore le souvenir. Personne ne saurait dire ce qui se passa alors; mais ce qu'il y a de certain (les débris du gouvernail trouvés sur l'écueil en font foi), c'est que le navire toucha sur l'écueil et fut

ensuite précipité entre les falaises rocheuses de l'île de Lavezzi. Personne n'échappa au naufrage : 592 cadavres mutilés, parmi lesquels on reconnut celui du commandant, furent rendus par la mer; les autres n'ont jamais été retrouvés.

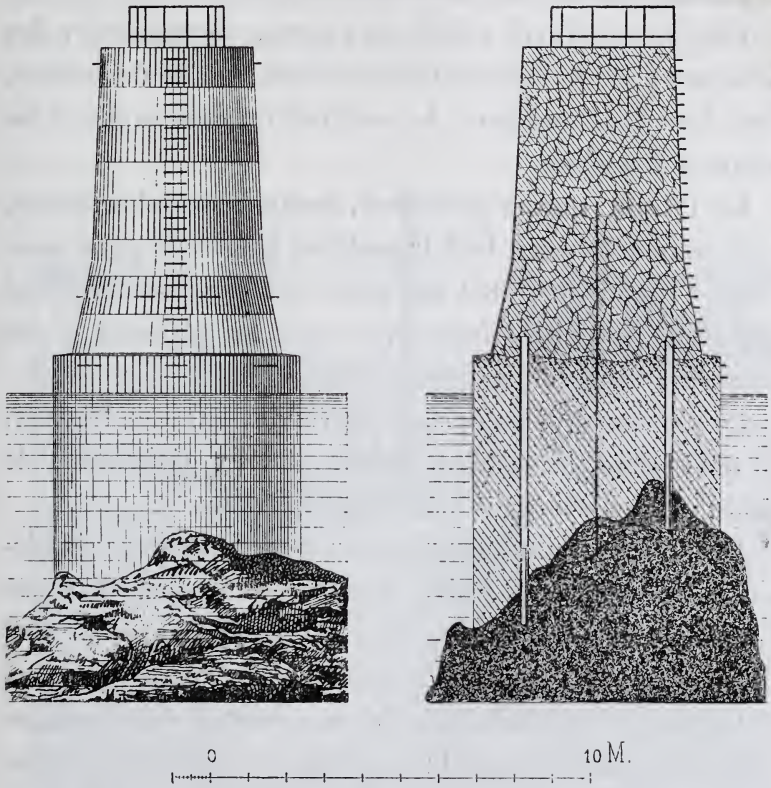
Pour éviter le retour de pareils accidents, il fallait signaler un écueil aussi dangereux : ce résultat est aujourd'hui atteint.

Pendant la nuit, la position de l'écueil est déterminée par l'intersection de deux secteurs lumineux rouges émanant des feux établis sur les îles de Lavezzi et de Razzoli. Pendant le jour, elle est indiquée par une tour en maçonnerie dont la construction, commencée en 1876, a été achevée en 1877. C'est cette tour que représente le dessin exposé.

Les conditions d'exécution du travail furent des plus difficiles. L'écueil à signaler est, comme nous l'avons dit plus haut, situé à 1 800 mètres de l'île presque déserte de Lavezzi et à 12 kilomètres de Bonifacio, qui n'offrent du reste aucune ressource en ouvriers spéciaux ni en matériel. Il a fallu fréter à Ajaccio les embarcations et les gondoles; le ciment, les fers et tout le matériel ont dû arriver du continent français par un bateau à vapeur qui fait le service d'Ajaccio à Bonifacio tous les quinze jours seulement. Mais la plus grande difficulté consistait dans l'énergie des courants qui règnent d'une manière presque continue dans les bouches de Bonifacio et dans l'extrême variabilité de l'état de la mer, même pendant l'été. Cette violence de la mer et l'insuccès des tentatives antérieures causaient les plus vives appréhensions aux ingénieurs et justifient les précautions

spéciales dont ils ont cru devoir s'entourer, ainsi qu'on va le voir.

La fondation est formée d'un massif cylindrique en béton de ciment, de $6^m,50$ de diamètre, arasé à 1 mètre au-



dessus des mers moyennes; la tour affecte la forme d'un tronc de cône de 6 mètres de hauteur, dont les bases ont $5^m,50$ et 4 mètres de diamètre.

L'adhérence de la tour au rocher a été augmentée au moyen de douze goujons en fer; les quatre plus rapprochés du centre du massif ont $0^m,10$ de diamètre et pé-

nètrent de $0^m,60$ dans le rocher; les huit autres, de $0^m,15$ de diamètre, ont été scellés à 1 mètre de profondeur.

Le travail peut se diviser en quatre périodes : l'installation, la fondation, le forage des trous dans le rocher, la construction de la tour au-dessus de l'eau.

Dès le mois d'avril 1876, on s'occupa de construire des baraques pour le logement des ouvriers sur l'île de Lavezzi, dans l'enceinte du phare. Le matériel fut commandé et fabriqué à Marseille.

Le 1er juin, tout le personnel, hommes et embarcations, était rendu à Lavezzi; tout le matériel nécessaire pour commencer les travaux était sur place; un approvisionnement important de ciment était arrivé avec les gâcheurs et les plongeurs venus du continent français.

Le personnel se composait du conducteur des travaux, de deux plongeurs et d'un guide, de deux gâcheurs et de quarante ouvriers, tant marins que manœuvres.

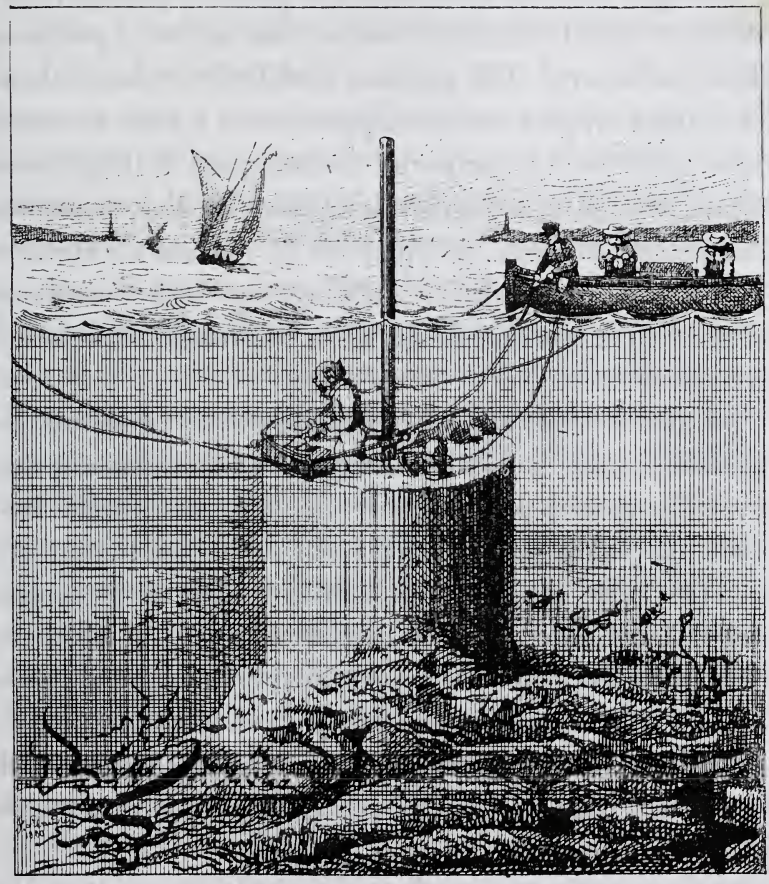
Le matériel flottant consistait en deux tartanes de 22 tonneaux chacune et en trois canots de dimensions diverses, dont l'un portait le scaphandre. Un quatrième canot était chargé des transports de toute sorte entre Lavezzi et Bonifacio.

On plaça immédiatement les corps-morts de l'ancrage, au nombre de quatre; ils furent rattachés à autant de bouées en tôle placées au N.O., à l'O. S. O., au S. E. et à l'E. N. E. de l'écueil, de manière à constituer un système d'amarrage aussi solide que possible.

Le 5 et le 6 juin, on s'occupa du nettoyage du rocher; cette opération fut interrompue par le mauvais temps et ne put être reprise que le 25; le 28, elle était terminée. Le mois de juin avait donc été peu propice; la campagne commençait mal.

Lorsqu'on ne pouvait se rendre sur l'écueil, tous les ouvriers, sans exception, préparaient de la pierre cassée pour le béton.

Le 5 juillet, on détermina aussi exactement que possible le centre des fondations et on y scella avec du ciment pur



un axe formé d'une barre en fer galvanisé de $0^{m},06$ de diamètre. Puis le coulage du béton commença. Il était descendu dans des seaux au plongeur, qui les vidait en les retournant

et qui tassait la matière en la serrant contre le tas le plus rapproché. Douze vides furent ménagés dans le massif, à l'aide de tubes en fonte de $0^m,60$ de hauteur, qui s'emboîtaient de $0^m,15$ les uns dans les autres et que l'on plaça successivement au fur et à mesure de l'avancement des fondations.

Dès que l'on eut ainsi atteint le point le plus élevé du rocher et réglé la fondation suivant une surface à peu près plane, on se servit d'un panneau mobile de $0^m,60$ de hauteur, ayant en plan un développement de 1/5 de circonférence environ. Ce panneau, inventé par M. l'ingénieur Martin pour la construction des balises du Var, rendit les plus grands services, en opposant au courant un obstacle sérieux, en empêchant le délavage ou l'enlèvement du béton et en permettant de donner à la fondation une forme très régulière.

Le ciment employé dans la fondation était du ciment de la Méditerranée. Le béton était composé en volume d'une partie de pierres cassées pour une de mortier, formé lui-même moyennement de deux parties de ciment pour une de sable. Cette proportion de mortier variait du reste suivant la force du courant et la portion du massif à élever. Ainsi, extérieurement, le ciment était employé sans aucun mélange de pierres et quelquefois pur, en vue d'un durcissement plus rapide, tandis qu'intérieurement le béton était presque toujours composé de volumes égaux de ciment, de sable et de pierres.

La mer obligea souvent de suspendre le travail. Bien des fois on se rendit sur l'écueil, et l'on fut obligé de rentrer après une heure de travail, ou même sans avoir pu travailler.

Il arriva à plusieurs reprises qu'après avoir travaillé

deux jours, on se reposa pendant onze et douze jours consécutifs; on a éprouvé onze interruptions de cette nature. Le 25 août, une tempête effroyable s'abattit sur les bouches de Bonifacio, et ce ne fut que seize jours après que la mer fut assez calme pour permettre la reprise du travail. On comprend quels faux frais une situation semblable engendrait.

Enfin, le 30 septembre, la fondation était élevée à 1 mètre au-dessus du niveau moyen de la mer. Sur cent dix-sept jours, on avait à peine travaillé trente-six jours, à raison de six heures par jour en moyenne. Le cube du massif de fondation était de 163 mètres; mais, en profitant d'une crevasse que le rocher présente dans sa partie S. E., on a pu adosser à la tour un contrefort de 14^{mc} environ, ce qui porte le cube total de la fondation à 177 mètres. On a donc coulé près de 1^{mc} de béton par heure de travail effectif.

On aurait pu suspendre alors les travaux et remettre à l'été suivant le forage des trous dans le rocher. Mais cette opération longue et pénible devant exiger une campagne entière, la tour n'aurait pu ainsi être achevée qu'en 1878. On gagna une année en commençant le forage immédiatement, et cet avantage ne coûta en définitive que 7 500 francs environ.

Le forage se pratiquait au moyen de trépans manœuvrés dans les tubes qu'on avait ménagés à cet effet dans le massif de fondation; puis, lorsque le trou avait la profondeur voulue, on y descendait un goujon en fer galvanisé ayant, à 0^{m},01 près, le diamètre du trou, et dont la longueur était double de la profondeur de ce trou; le tube était ensuite rempli de ciment pur très liquide.

La somme des profondeurs qu'on a ainsi forées s'élève à 10^{m},40. L'opération, commencée le 27 octobre 1876, a été

terminée le 7 août 1877. Elle a été souvent contrariée par la mer; on devait bien s'y attendre; mais cependant il faut constater que le temps a été cette année exceptionnellement mauvais. Ainsi, c'est à peine si on a pu travailler pendant onze jours par mois, à raison de sept heures dix minutes par jour en moyenne. On a foré en moyenne $0^{m},014$ par heure de travail effectif, résultat satisfaisant, eu égard aux circonstances dans lesquelles on a opéré et à la dureté extrême du rocher.

Dès le 8 août, on a commencé la construction de la tour, qui fut terminée, y compris la balustrade, le 14 septembre suivant. Elle est en maçonnerie de ciment recouverte d'un crépissage de $0^{m},02$ d'épaisseur, également en ciment. Cet ouvrage n'a présenté aucune particularité qui mérite d'être signalée; il a exigé cent cinquante heures de travail effectif. Le cube de la maçonnerie étant de 113 mètres, on a fait 3/4 de mètre cube de maçonnerie par heure en moyenne.

La tour est peinte par bandes de 1 mètre de largeur, alternativement rouges et noires, et est munie d'échelons en fer conduisant à une galerie supérieure également en fer, pouvant servir de refuge en cas d'accident.

Les travaux ont été entièrement exécutés en régie. La dépense s'est élevée à 92 000 francs et se répartit ainsi :

Installation, acquisition de matériel, personnel et dépenses diverses	7 876f,97
Fondation	43 075 ,07
Tubes en fonte et tiges galvanisées	2 659 ,60
Forage des trous	23 366 ,36
Tour au-dessus de l'eau	15 022 ,00
Total	92 000 ,00

Le projet a été dressé et le travail exécuté par M. Koziorowicz, ingénieur ordinaire, sous la direction de MM. les ingénieurs en chef: Celler, pour le projet, et Gay, pour la construction. Les conducteurs qui ont secondé les ingénieurs dans la surveillance sont : MM. Giraud, pour la fondation, et Ilari, pour le forage des trous et la construction de la tour. Le ciment a été fourni par la maison Désiré Michel, de Marseille.

XXI

PHARE DU PLANIER.

(DÉPARTEMENT DES BOUCHES-DU-RHÔNE.)

A 8 milles au S. O. de l'entrée du port de Marseille, se trouve un massif de roches sous-marines qui émerge en un seul point pour former l'îlot du Planier. Cet îlot, de 200 mètres de long dans la direction E. O. sur 100 mètres de large, est entièrement rocheux. Sa surface est plate; le point le plus élevé du sol n'est qu'à $4^{m},50$ en contre-haut de la haute mer. Dans les fortes houles du S. E. au Sud et à l'Ouest, les lames couvrent l'île jusqu'aux abords de la tour du phare actuel.

Les bords de l'îlot sont accores, mais ils offrent plusieurs petites criques dans lesquelles on peut aborder, quand le temps n'est pas mauvais, en choisissant celle qui est sous le vent. Toutefois, elles ont très peu d'étendue et ne présentent guère que 1 à 2 mètres de fond; on ne peut donc y entrer qu'avec des bateaux de petites dimensions.

La roche qui constitue le sol du Planier est un calcaire compacte de couleur brun clair; elle est à nu sur toute l'étendue de l'îlot. Mais les bancs de la surface, par suite des dislocations qu'ils ont subies, sont mal gisants, fracturés, et ne présentent pas une base solide pour la construction d'un monument important.

Cet îlot se trouvant à l'entrée de la baie de Marseille, on

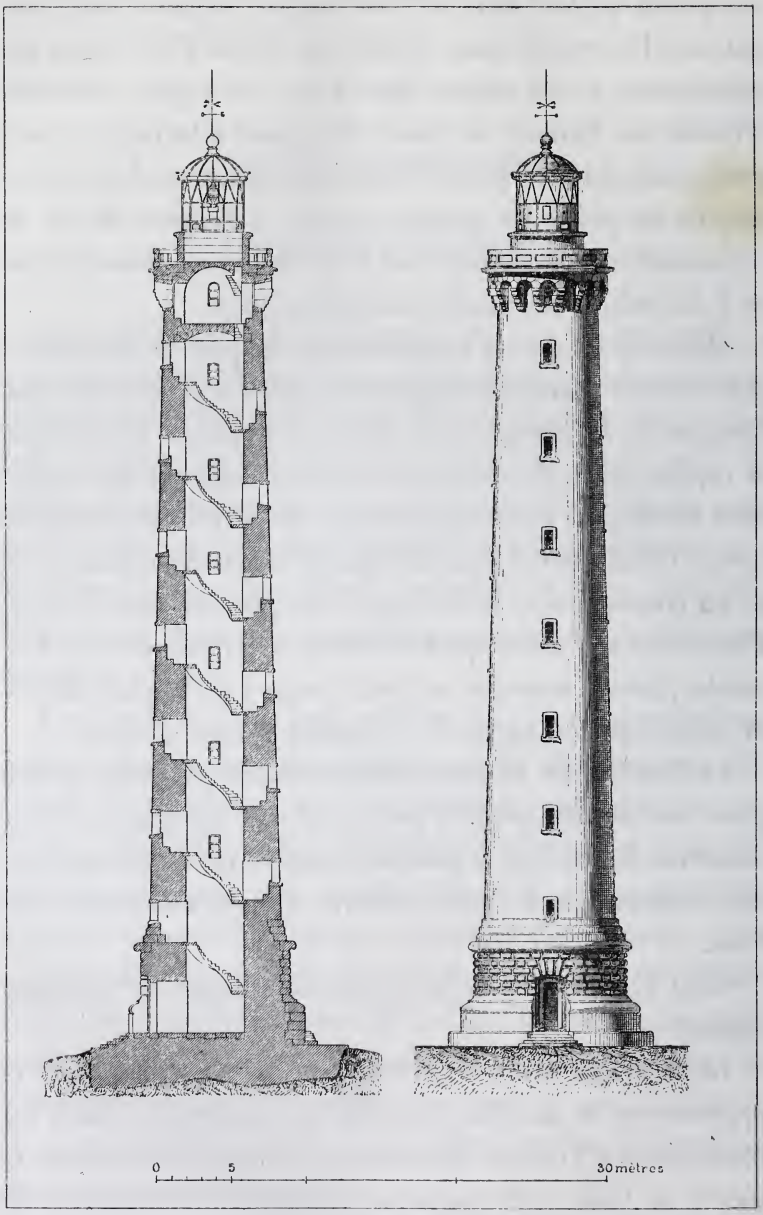
comprend qu'il ait fallu de tout temps le signaler aux navigateurs. Une vieille tour, située sur le côté Est, servait primitivement à cet usage. En 1829, on jugea nécessaire d'établir au Planier un phare de grand atterrage, et on y construisit, dans la partie Ouest, une tour sur laquelle on installa un phare de premier ordre, à éclipses de 30 en 30 secondes, dont le foyer est à 36 mètres au-dessus du sol et à 40 mètres au-dessus des hautes mers.

Mais depuis que la fréquentation du port de Marseille a pris un très grand développement, depuis surtout que, par l'emploi de la vapeur, on a donné aux navires une marche si rapide, on a reconnu la nécessité d'indiquer les approches de ce port d'une manière qui ne permît ni l'erreur ni même l'hésitation, et qui les signalât à grande distance. On a, en conséquence, décidé que l'on placerait sur l'îlot du Planier un feu électrique scintillant, à éclipses de 5 en 5 secondes, faisant succéder un éclat rouge à trois éclats blancs, et dont la portée serait de 23 milles marins environ.

La hauteur de la tour actuelle n'était pas assez grande pour fournir une pareille portée, et cet ouvrage n'est pas construit de manière à pouvoir recevoir un surhaussement. On a donc pris le parti d'élever une nouvelle tour sur l'îlot.

C'est l'ouvrage dont le projet est indiqué sur le dessin exposé.

La nouvelle tour est cylindrique. Elle est construite en maçonnerie de moellons hourdés au mortier de chaux hydraulique du Theil et de sable non salé de l'île de Riou. La pierre de taille n'est employée que pour le revêtement du soubassement, ainsi que pour la corniche et le parapet du


0
5
30 mètres

couronnement. Le parement du fût est fait au moyen d'un enduit au ciment de Portland. L'escalier est en pierre de taille, mais le parement de la cage est simplement revêtu d'un enduit en ciment de la Valentine. Les moellons ont été pris partie sur l'île, partie sur le continent, et ces derniers viennent des carrières des Catalans. Les pierres de taille proviennent des bancs dits « plombés », des carrières de Cassis.

Le soubassement repose sur une plate-forme de fondation qui est arasée à $4^{m},33$ en contre-haut de la haute mer. La hauteur du soubassement au-dessus de cette plate-forme est de $8^{m},60$, la hauteur du fût est de $42^{m},44$, celle du couronnement de $5^{m},45$; le foyer sera à $57^{m},60$ au-dessus de la plate-forme de fondation, et se trouvera par suite à $61^{m},93$ au-dessus des hautes mers.

Les rayons des sections circulaires horizontales de la tour sont de : $3^{m},35$ au sommet du fût, $4^{m},40$ à la base du fût et $6^{m},90$ à la base du soubassement. Le vide intérieur formant la cage de l'escalier est un cylindre de 4 mètres de diamètre.

La tour ne contient ni magasin, ni logement pour les gardiens. On utilise, pour ces installations indispensables, les dépendances qui servaient déjà à cet usage.

Le projet a été dressé par M. Bernard, ingénieur en chef, et par M. André, ingénieur ordinaire, sur les dessins et les indications de M. Léonce Reynaud, directeur du service des phares et balises.

Les travaux sont exécutés sous la direction de M. l'ingénieur en chef Bernard; ils ont été commencés par M. l'ingénieur André et sont continués par M. Sébillotte, conduc-

teur principal faisant fonctions d'ingénieur ordinaire; ils sont surveillés par M. Levens, conducteur principal.

Le nouveau phare du Planier doit être éclairé par l'électricité; on espère qu'il pourra être allumé à la fin de la présente campagne. La notice suivante donne des renseignements sur l'appareil optique.

XXII

APPAREIL POUR PHARE ÉLECTRIQUE.

L'application de la lumière électrique à l'éclairage des phares remonte déjà à seize ans, et depuis lors ce nouveau système ne s'est pas répandu aussi rapidement qu'on aurait pu le supposer. En France, il n'y a encore que trois phares électriques : ceux du cap La Hève et celui du cap Gris-Nez. Ce n'est pas que les machines destinées à produire les courants électriques ou à les transformer en lumière aient présenté des imperfections ou donné lieu à des accidents; il faut reconnaître, au contraire, qu'elles ont fonctionné avec toute la régularité désirable. Mais tous les phares importants des côtes de France sont depuis longtemps installés avec les appareils optiques destinés à recevoir un éclairage à l'huile, de sorte que, pour y introduire la lumière électrique, il faut commencer par sacrifier le capital que représentent ces appareils et s'imposer ensuite une dépense au moins aussi importante pour l'installation du nouveau mode d'éclairage. Tel est le motif qui a fait ajourner l'emploi de l'électricité.

Cependant les appareils lenticulaires établis dans les premières années qui ont suivi l'invention de Fresnel commencent à présenter des dégradations qui nuisent à leur efficacité pour la concentration de la lumière; les miroirs qui, dans ces appareils, occupent la place des anneaux catadioptriques actuellement employés, sont partout plus

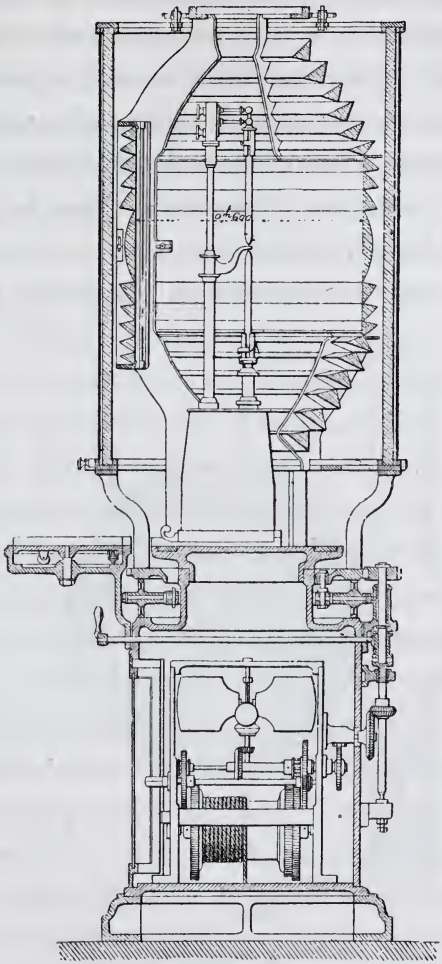
ou moins altérés; les lentilles de ces appareils présentent d'ailleurs des formes polygonales moins favorables que les formes circulaires adoptées depuis longtemps. A mesure qu'il deviendra nécessaire de renouveler ces anciens appareils, on aura à examiner si, eu égard aux circonstances locales, il est avantageux de les remplacer par des appareils d'éclairage électrique.

Cette question s'est déjà posée à l'occasion du phare du Planier, dont on reconstruit la tour et dont le vieil appareil a été jugé hors de service. Il a été décidé que, eu égard à l'importance du port de Marseille, le nouveau phare serait éclairé par l'électricité.

Lorsqu'on a établi les phares électriques de La Hève et de Gris-Nez, on s'est astreint à leur conserver les caractères que présentaient les anciens phares à l'huile; les feux de La Hève sont fixes, celui de Gris-Nez est à éclipses de 30 en 30 secondes. Mais pour le phare du Planier, qui présentait également ce dernier caractère, on a reconnu qu'il y aurait un grand avantage à en adopter un autre plus propre à faire éviter les confusions avec les feux voisins, et on a décidé que le nouveau phare serait à feu scintillant, présentant, à 5 secondes d'intervalle les uns des autres, trois éclats blancs et un éclat rouge.

Le système optique destiné à produire ce nouveau caractère est représenté par les dessins qui figurent à l'Exposition. Il se compose d'un appareil de feu fixe, de $0^{m},60$ de diamètre intérieur, et d'un tambour mobile de lentilles verticales, dont le plan et l'élévation sont donnés par les figures ci-après; malgré l'inconvénient de faire passer la lumière par deux lentilles successives, cette combinaison a

été jugée préférable à celle qui consisterait à employer des lentilles annulaires. La lumière électrique donnant en effet



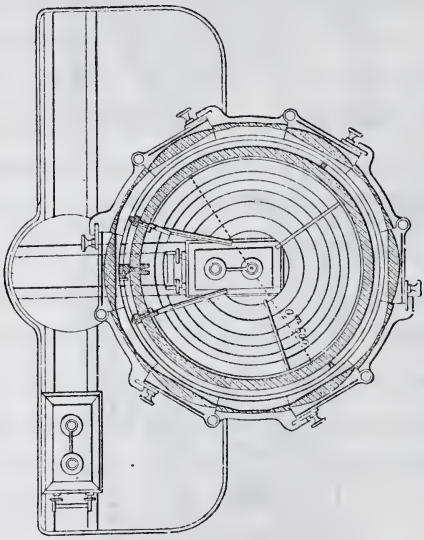
Élévation.

Échelle de $0^m,05$ par mètre.

une divergence insuffisante pour assurer aux éclats une durée convenable, il faut calculer les appareils de manière

à l'augmenter dans une assez forte proportion. Avec les lentilles annulaires, on ne peut obtenir cette augmentation dans le sens horizontal sans la produire en même temps dans le sens vertical, ce qui entraîne une notable diminution d'intensité lumineuse; tandis que le système adopté permet de donner aux éclats la durée nécessaire en augmentant la divergence horizontale des lentilles du tambour, sans qu'il en résulte de changement dans la divergence verticale due à l'appareil de feu fixe.

Le tambour mobile comprend six groupes de quatre len-



Plan.

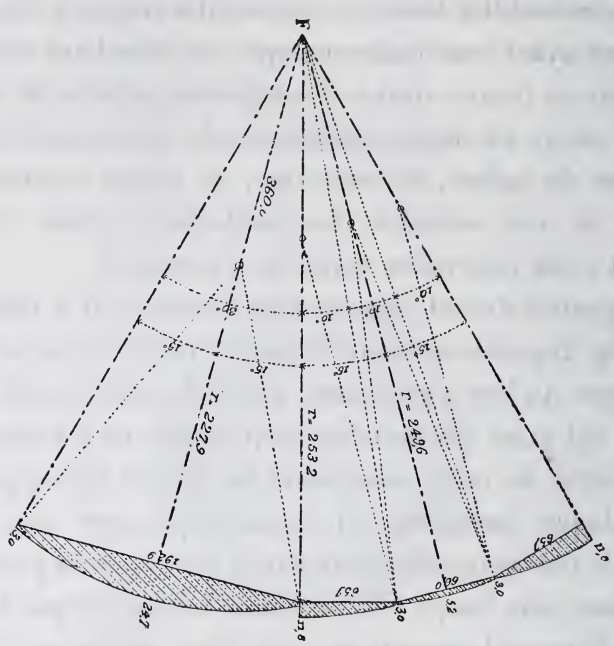
Échelle de $0^m,05$ par mètre.

tilles, dont une rouge et trois blanches; l'un de ces groupes est représenté par la figure ci-dessus. Les lentilles destinées à produire les éclats rouges embrassent 30 degrés; et celles qui donnent les éclats blancs, 10 degrés seulement.

Des expériences spéciales ont en effet démontré que le rapport des intensités devait être au moins égal à 3 pour donner, avec le verre rouge adopté pour cet appareil, la même portée aux éclats rouges qu'aux éclats blancs. Afin de conserver entre ces différents éclats des intervalles égaux, malgré l'inégalité de largeur des lentilles, on a réduit les lentilles blanches voisines des rouges à des demi-lentilles ayant leur centre optique sur leur bord extrême; leur axe se trouve ainsi à 15 degrés de celui de la lentille rouge et à 15 degrés également de celui de la lentille blanche du milieu, de sorte que, en faisant tourner l'appareil en 120 secondes, les vingt-quatre éclats se succèdent à des intervalles égaux de 5 secondes.

L'appareil devant éclairer tout l'horizon, il a fallu étudier des dispositions nouvelles pour l'entrée et la sortie de la lampe. Au lieu d'avoir deux lignes de rails à angle aigu, ce qui eût exigé des portières trop larges, on a adopté une seule ligne de rails, aboutissant en dehors de l'appareil à une plaque tournante qui communique avec une autre ligne de rails perpendiculaire sur la première; on peut ainsi substituer une lampe à l'autre aussi facilement que dans le cas où l'appareil présente un angle libre, sauf le petit inconvénient d'arrêter la rotation du tambour pendant quelques instants et d'ouvrir deux portières. La lampe étant en place, les boutons qui servent, l'un à régler l'écart des charbons, l'autre à les ramener au plan focal, se trouvent au-dessous de l'appareil optique et à portée du gardien; celui-ci peut également, en montant sur un escabeau, atteindre par-dessus l'appareil les boutons de la partie supérieure de la lampe, qui servent à mettre les charbons

dans le prolongement l'un de l'autre et qu'on n'a en général besoin de toucher qu'au moment où l'on met les charbons en place. Pour pouvoir vérifier à l'extérieur l'écart et la hauteur des charbons, on a placé dans l'armature du feu fixe un prisme rectangulaire, dont les faces formant les côtés de l'angle droit sont sphériques, avec une courbure


F
r = 2532
r = 2486
r = 2272
300,0
194,9
247,0
0,57
0,57
0,57

donner une divergence horizontale de 3 degrés, et par suite une durée de 1 seconde à chaque éclat. L'appareil de feu fixe donne une intensité égale à cinquante fois environ celle de la lumière électrique placée au foyer; les lentilles verticales blanches quadruplent à peu près cette intensité, de sorte que les éclats valent deux cents fois la lumière focale; si, par exemple, on suppose au foyer une lumière de 500 becs Carcel, chaque éclat blanc vaudra environ 100 000 becs. Les lentilles destinées à produire les éclats rouges donnent une intensité trois fois plus grande; mais, eu égard à la coloration, les éclats qu'elles produisent ont à peu près la même portée que les éclats blancs.

Cet appareil optique a été exécuté par MM. L. Sautter, Lemonnier et Cie, constructeurs de phares, à Paris.

Le régulateur électrique dans lequel se produira la lumière du phare a été inventé et construit par M. V. Serrin.

Le courant électrique sera obtenu au moyen d'un appareil magnéto-électrique de la Compagnie l'Alliance, perfectionné et construit par M. Joseph Van Malderen; cet appareil comprend deux machines à cinq disques, disposées de manière à pouvoir marcher ensemble ou séparément.

Le projet de l'appareil d'éclairage dont il est question dans cette notice a été rédigé, sous la direction de M. l'inspecteur général Léonce Reynaud, par M. Émile Allard, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, avec l'aide de M. Dénéchaux, conducteur principal faisant fonctions d'ingénieur ordinaire.

XXIII

APPAREIL DE SECOND ORDRE DU PHARE DU PILIER,

NOUVEAU PROFIL.

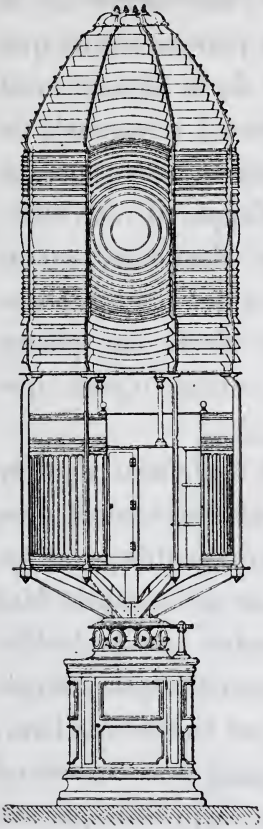
Dessins à l'échelle de $0^m,20$ pour mètre ($\frac{1}{5}$).

Cet appareil a été placé, en 1878, au sommet d'une tour construite sur l'îlot du Pilier, à l'embouchure de la Loire, et destinée à remplacer l'ancien phare qui était en mauvais état. Les figures ci-après représentent l'élévation et le plan de l'appareil.

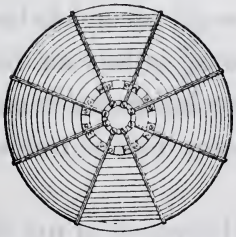
Pour produire le caractère de feu fixe varié par des éclats qui a été attribué à ce phare, on a adopté un appareil de feu fixe dont deux secteurs, de 1/8 d'horizon, opposés l'un à l'autre, sont remplacés par des panneaux de lentilles annulaires, et on fait tourner cet appareil en raison d'un tour en 8 minutes. Afin que les deux espèces de lentilles se raccordent sur les bords et puissent avoir une crémaillère commune, la distance focale, qui est de $0^m,700$ pour les lentilles de feu fixe, a été réduite à $0^m,647$ pour les lentilles annulaires.

Le profil de ces lentilles présente des dispositions nouvelles. Dans la partie centrale ou dioptrique, les joints qui séparent les éléments, au lieu d'être horizontaux, sont inclinés suivant la direction du rayon réfracté. Ce système a plusieurs avantages : il supprime une partie triangulaire de

verre qui est inutile et il diminue par suite le poids de l'appareil; il réduit dans une forte proportion la perte de lumière qu'occasionnent les joints horizontaux; il rend moins aigus, et par conséquent moins fragiles, les angles extérieurs des éléments; il diminue en outre leur saillie, ce qui permet de donner à la lentille dioptrique une plus grande hauteur. Cette lentille embrasse en effet un angle vertical de 76 degrés, tandis que, dans les anciens profils, elle n'occupait que 60 degrés environ; sa hauteur se trouve donc portée de $0^m,85$ à $1^m,10$. On satisfait ainsi à la condition que les rayons lumineux rencontrent le dernier élément dioptrique sous le même angle que le premier anneau catadioptrique, et éprouvent sur l'un et sur l'autre la même perte par réflexion.



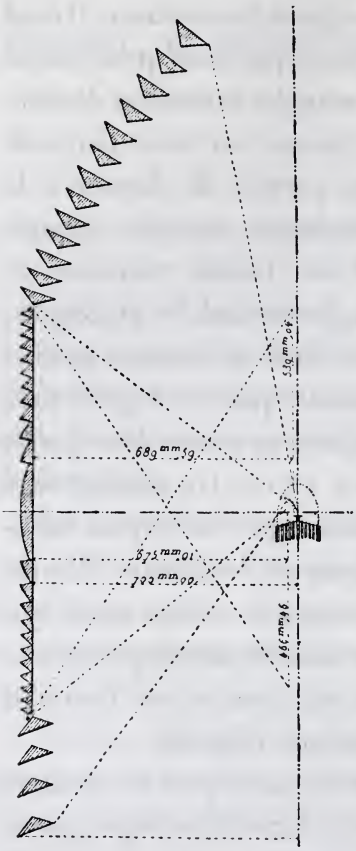
Élévation.



Plan.
Échelle de $0^m,02$ par mètre.

Le mode de calcul pour les éléments inférieurs de la lentille dioptrique et pour les anneaux catadioptriques du bas a été un peu modifié. On a déterminé, pour ces différents éléments, la véritable forme de la portion de flamme que la base du bec permet d'apercevoir de chacun d'eux, et on a pris pour foyer un point situé à peu près au centre de

gravité de cette portion de flamme, au lieu de le placer, comme dans les anciens calculs, sur l'axe même de la lampe. Cette modification était d'autant plus nécessaire que le diamètre de la flamme avait été notablement augmenté; le bec de la lampe à cinq mèches qui éclaire l'appareil a, en effet, $0^m,110$ de diamètre, tandis que le bec à trois mèches anciennement affecté aux phares de second ordre n'avait que $0^m,074$.

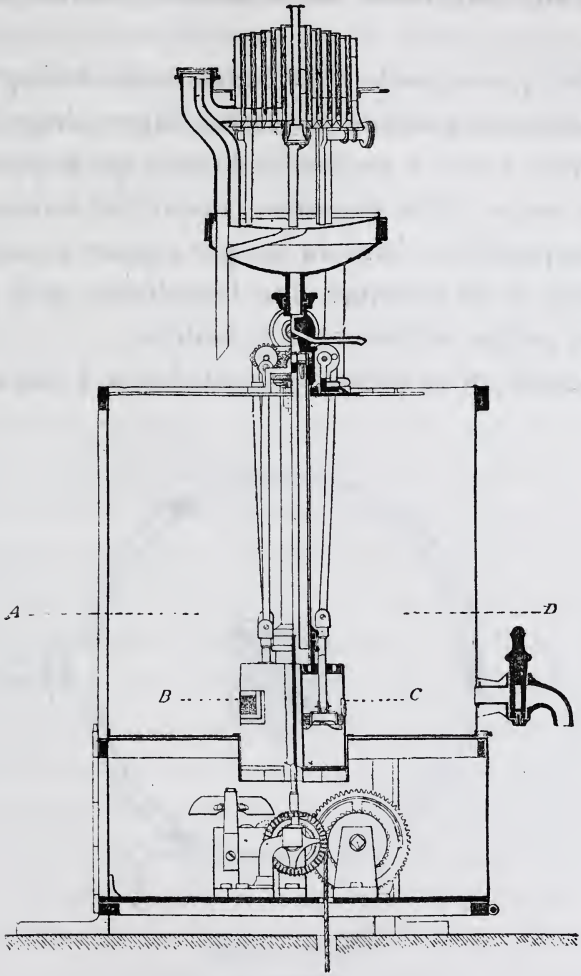


Profil des lentilles de feu fixe.
Échelle de $0^m,05$ par mètre.

On peut également signaler un petit perfectionnement dans le montage des lentilles : les anneaux du bas sont compris dans le même cadre que la lentille centrale, sans entretoise interposée; quant aux anneaux du haut, ils sont montés dans un second cadre séparé du premier par une entretoise métallique de forme circulaire, ce qui permet de laisser les anneaux intacts au lieu de les couper horizontalement, comme on le faisait autrefois pour placer une entretoise rectiligne.

La lampe qui se trouve au foyer de l'appareil et qui est représentée par les deux figures ci-après, offre des dispositions particulières imaginées par M. Dénéchaux, faisant

fonctions d'ingénieur ordinaire au service central des phares. Ainsi les poches ou valvules en peau et les clapets en cuir,



Coupe verticale de la lampe.

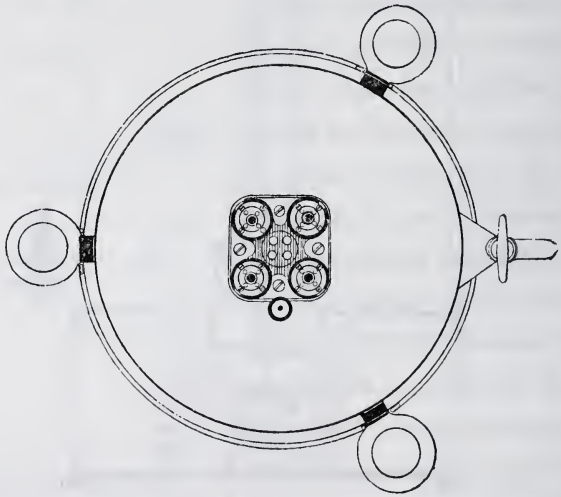
Échelle de $\frac{2}{15}$.

qui donnent quelquefois lieu à des dérangements, ont été remplacés par des pistons ordinaires et des clapets métalli-

ques. De plus, le corps de pompe se trouvant noyé dans l'huile, on a pu donner au réservoir une capacité plus grande sans augmenter les dimensions extérieures de la lampe.

Le bec que supporte cette lampe contient cinq mèches concentriques et présente une forme étagée, chaque mèche se trouvant à $0^m,02$ au-dessous de celle qui la précède du côté du centre. Cette disposition a pour but d'abaisser autant que possible le bord du bec par rapport au centre de la flamme et de diminuer ainsi l'occultation qu'il produit pour les parties inférieures de la lentille.

L'intensité qu'on obtient avec cette lampe à cinq mèches,



Plan de la lampe.

Échelle de $\frac{2}{15}$.

brûlant de l'huile minérale, est de 36 becs Carcel; le panneau annulaire complet donne un éclat de plus de 5 000 becs.

Cet appareil a été exécuté par MM. Henry-Lepaute fils, constructeurs de phares, à Paris.

Le projet en a été dressé, sous la direction de M. l'inspecteur général Léonce Reynaud, par M. Émile Allard, ingénieur en chef des ponts et chaussées, avec l'aide de M. Dénéchaux, conducteur principal faisant fonctions d'ingénieur ordinaire.

XXIV

APPAREIL POUR SIGNAUX DE MARÉE

PENDANT LA NUIT.

Dessin à l'échelle de $0^m,20$ pour mètre ($\frac{1}{5}$).

Les signaux de marée, destinés à faire connaître aux navigateurs les hauteurs de l'eau dans un port ou dans un chenal, se font pendant le jour au moyen de ballons qui se hissent sur un appareil composé d'un mât et d'une vergue. Les indications ne commencent que lorsque la hauteur dépasse 2 mètres; un ballon placé à l'intersection du mât et de la vergue, ainsi que tout ballon placé sur le mât au-dessous celui-ci, ajoute 1 mètre à la hauteur primitive de 2 mètres, et tout ballon placé au-dessus en ajoute 2. Les fractions de mètre sont indiquées par des ballons hissés à une extrémité de la vergue ou à l'autre; quand le ballon paraît à gauche du mât, il indique $0^m,25$; quand il est vu à droite, il indique $0^m,50$; les deux ballons indiquent ensemble $0^m,75$. On complète ces renseignements en faisant connaître le mouvement de la marée au moyen d'un pavillon blanc avec croix noire et d'une flamme noire en forme de guidon.

Jusqu'en 1876, ces indications n'ont pas été données pendant la nuit. Mais à la suite de réclamations des pilotes de la basse Seine, et eu égard au développement considérable qu'a pris la navigation de la Seine dans ces derniers temps, il a été décidé qu'un appareil serait installé dans le

port de Honfleur pour donner aux pilotes pendant la nuit les indications de hauteur que le mât de signaux leur fournit pendant le jour.

Pour arriver à ce résultat, il suffit de produire une série d'éclats dont on fait varier le nombre à volonté, d'attribuer à une partie de ces éclats une couleur qui représente les mètres et à l'autre partie une couleur différente représentant les quarts de mètre, enfin de séparer par une lumière fixe le signal ainsi produit du signal suivant. Le dessin exposé représente un appareil qui réalise cette combinaison. Il se compose d'un appareil de feu fixe de $0^m,50$ de diamètre éclairant la moitié de l'horizon, d'un réflecteur catadioptrique occupant l'autre moitié et d'un demi-tambour de huit lentilles verticales embrassant chacune 22 degrés 1/2. Ces huit lentilles sont colorées : cinq en rouge et trois en vert; elles sont disposées de manière à pouvoir être à volonté enlevées et remises en place; ou plutôt, afin d'éviter ces déplacements, elles peuvent tourner autour d'un axe vertical de manière à venir se placer dans un plan diamétral de l'appareil; dans cette position, elles ne produisent plus sur la lumière du feu fixe qu'une légère occultation, qui est à peu près insensible lorsqu'on emploie une lampe à deux mèches. Ces lentilles sont, du reste, maintenues par des taquets à ressort dans l'une ou l'autre des deux positions qu'elles doivent prendre. La rotation s'effectue en 80 secondes et pourrait au besoin être accélérée. Le sens du mouvement est tel, que les lentilles rouges paraissent avant les vertes.

Voici maintenant quelle est la manœuvre de cet appareil. Comme tous les feux de marée, on l'allume dès que

la mer atteint une hauteur de 2 mètres au-dessus des plus basses eaux; toutes les lentilles sont enlevées ou du moins placées dans les plans diamétraux, de sorte qu'on a l'apparence d'un feu fixe ordinaire. Dès que l'eau atteint $2^m,25$, le gardien met en place la lentille verte, qui se présente la première dans le sens du mouvement; on voit alors toutes les 80 secondes un éclat vert précédé et suivi d'une courte éclipse, puis un feu fixe blanc, durant 75 secondes, entre chaque éclat et le suivant. La seconde lentille verte est mise en place lorsqu'il y a $2^m,50$ d'eau, et la troisième lorsqu'il y en a $2^m,75$. On voit alors deux, puis trois éclats verts se succédant à 5 secondes d'intervalle, suivis d'un feu fixe blanc pendant 70 ou 65 secondes et se reproduisant toutes les 80 secondes. Lorsqu'il y a 3 mètres d'eau, le gardien enlève ou retourne les trois lentilles vertes et met en place la dernière lentille rouge dans le sens du mouvement, c'est-à-dire celle qui confine à la première lentille verte. Cette lentille rouge ajoute 1 mètre aux 2 mètres primitifs et représente ainsi 3 mètres de hauteur. En remettant successivement en place la première, la deuxième et la troisième lentille verte qui suivent immédiatement cette lentille rouge, on indique $3^m,25$, $3^m,50$ et $3^m,75$. Pour 4 mètres, on retourne encore les trois lentilles vertes et on met en place l'avant-dernière lentille rouge, de sorte qu'on aperçoit deux éclats rouges qui ajoutent 2 mètres à la hauteur primitive et représentent par conséquent 4 mètres. En continuant ainsi, on peut arriver jusqu'à produire cinq éclats rouges et trois éclats verts, lesquels se succèdent à 5 secondes d'intervalle et sont suivis d'un feu fixe blanc durant 40 secondes. Ce signal représente une hauteur de

$7^{m},75$, qui dépasse les besoins ordinaires de la pratique. Lorsque la mer descend, on reproduit les mêmes signaux dans l'ordre inverse, et le feu est éteint dès que la hauteur s'est abaissée à 2 mètres.

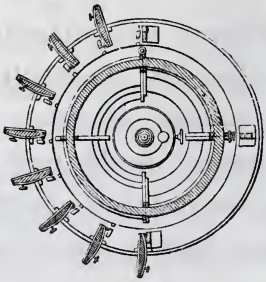
Dans cet appareil, le feu fixe blanc a une intensité de 81 becs et une portée de 13 milles 1/2; l'intensité des éclats est d'environ 250 becs de lumière blanche; leur portée est de 12 milles pour les rouges, et elle peut être supposée à peu près la même pour les verts, en admettant une coloration un peu claire, qui, dans ce cas, n'a pas d'inconvénient.

Les éclats sont produits au moyen de lentilles colorées dans leur épaisseur. Ce mode de coloration a été appliqué pour la première fois, en 1876, à l'appareil de signaux de marée du port de Honfleur, représenté en élévation et en plan par les quatre figures ci-après.

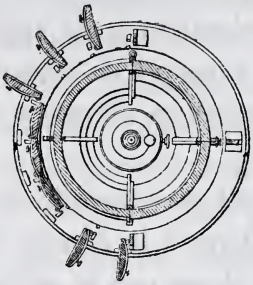
Le système qui vient d'être décrit est complété de manière à donner les indications relatives à la marche de la marée. Deux écrans opaques sont placés vers le milieu de la partie du tambour mobile qui ne porte pas de lentilles colorées, et ces écrans produisent deux occultations rapides à peu près au milieu de la durée du feu fixe blanc. Ces deux écrans peuvent être enlevés et permettent de produire trois signaux, savoir : deux occultations si on les laisse en place; une occultation si l'on en enlève un; pas d'occultation si on les enlève tous deux. On est convenu qu'une occultation désignerait la mer montante, que deux occultations indiqueraient la mer descendante, et que l'absence d'occultation signifierait que la mer est étale.

Lorsque la hauteur d'eau est inférieure à 2 mètres, le

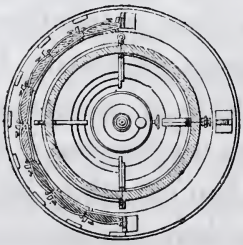
feu fixe est coloré en rouge si la marée monte, et en vert si elle descend. Ce feu fixe n'apparaît blanc que lorsque la hauteur de l'eau est égale ou supérieure à 2 mètres.



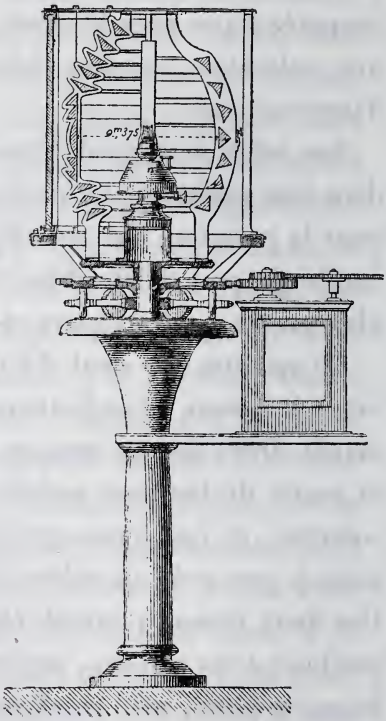
Signal de 2 mètres.



Signal de $4^m,25$.



Signal de $7^m,75$.



Coupe verticale.

Échelle de $0^m,05$ pour 1 mètre.

L'appareil comportant toutes ces indications et représenté par les dessins qui figurent à l'Exposition fonctionne au port de Dunkerque depuis 1878.

Ces deux appareils ont été fabriqués par MM. Barbier et Fenestre, constructeurs de phares, à Paris.

Les projets de ces appareils ont été rédigés, sous la direction de M. l'inspecteur général Léonce Reynaud, par M. Émile Allard, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, avec l'aide de M. Dénéchaux, conducteur principal faisant fonctions d'ingénieur ordinaire.

XXV

MÉMOIRE SUR L'ÉCLAIRAGE ET LE BALISAGE DES CÔTES DE FRANCE.

Un volume de texte in-4° et un atlas in-folio.

Mémoire sur l'éclairage et le balisage des côtes de France, par M. Léonce Reynaud, inspecteur général des Ponts et Chaussées, directeur du service des phares et balises, etc., publié par ordre de M. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics. Paris, Imprimerie impériale, 1864.

XXVI

MÉMOIRE

SUR L'INTENSITÉ ET LA PORTÉE DES PHARES.

Un volume in-4° avec planches.

Mémoire sur l'intensité et la portée des phares, comprenant la description de quelques appareils nouveaux ainsi que des études sur la transparence des flammes, la vision des feux scintillants et la transparence nocturne de l'atmosphère, par M. E. Allard, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, attaché au service central des phares, publié par ordre de M. le Ministre des travaux publics. Paris, Imprimerie nationale, 1876.

XXVII

ÉTAT DE L'ÉCLAIRAGE ET DU BALISAGE

DES CÔTES DE FRANCE.

Un volume grand in-8° avec carte.

Cet état a été dressé à la date du 1er janvier 1876, mais il est complété jusqu'au 1er juillet 1877 au moyen d'un bulletin rectificatif. Il contient une carte des phares des côtes de France au 1er janvier 1876.

Ces phares peuvent être divisés, d'après leurs caractères distinctifs, en sept genres principaux : feux fixes, feux à éclipses, feux fixes variés par des éclats, feux scintillants, feux alternativement fixes et scintillants, feux clignotants, feux diversement colorés. Ils sont partagés en cinq ordres, suivant le diamètre des appareils optiques qui les éclairent. Ce diamètre est de $1^{m},84$ pour le premier ordre, de $1^{m},40$ pour le second, de 1 mètre pour le troisième, de $0^{m},50$ pour le quatrième, et de $0^{m},375$ ou au-dessous pour le cinquième.

La portée des feux varie entre des limites très éloignées, suivant l'état de la transparence atmosphérique. Les chiffres indiqués dans le livret des phares ont été calculés par M. l'ingénieur en chef Allard pour le degré moyen de transparence. Ce degré est tel, que la transparence atmosphérique s'élève au-dessus pendant la moitié du temps et reste au-

dessous pendant l'autre moitié; il a été déterminé au moyen des observations que les gardiens de phares enregistrent, trois fois par nuit, sur la visibilité des feux voisins. Il résulte de cette définition que le chiffre donné comme étant la portée d'un phare n'a qu'une valeur relative : lorsque, par exemple, on indique 21 milles pour la portée d'un feu fixe de premier ordre dans l'Océan, cela veut dire qu'à cette distance il sera visible pendant la moitié du temps et invisible pendant l'autre moitié, ou, en d'autres termes, qu'on aura une probabilité de l'apercevoir égale à 1/2. Mais il pourra être vu de beaucoup plus loin, ou au contraire n'être visible qu'à une bien plus petite distance : ainsi, par exemple, à 39 milles il sera visible pendant le 1/12 du temps, à 33 milles pendant les 2/12, et ainsi de suite, c'est-à-dire qu'à ces différentes distances les probabilités de l'apercevoir seront respectivement égales à 1/12, à 2/12, etc.; au contraire, à une distance de 8 milles il sera visible pendant les 11/12 du temps et ne disparaîtra que pendant l'autre 1/12; à 12 milles, on le verra pendant les 10/12 du temps, et ainsi de suite; ou, en d'autres termes, les probabilités de voir le feu à ces différentes distances sont respectivement de 11/12, 10/12, etc.

A côté de la portée lumineuse, est indiquée la portée géographique de chaque feu, c'est-à-dire la distance à laquelle il peut être vu, eu égard à la hauteur à laquelle il se trouve au-dessus du niveau de la mer. Cette portée se calcule en tenant compte de la courbure de la mer et de la réfraction atmosphérique moyenne.

Les ouvrages relatifs au balisage comprennent les tourelles en maçonnerie, les balises, les bouées et les amers.

Un système uniforme de coloration est appliqué à toutes les bouées et balises. Ceux de ces ouvrages que les navigateurs doivent laisser à tribord, en venant du large, sont peints en rouge; ceux qui doivent être laissés à bâbord sont peints en noir; ceux qui peuvent être laissés indifféremment de l'un ou de l'autre côté sont peints en bandes horizontales alternativement rouges et noires. L'état du balisage indique ces différentes colorations.

XXVIII

MÉDAILLE COMMÉMORATIVE.

Cette médaille a pour objet de rappeler les services rendus par la France à l'éclairage et au balisage maritimes.

La face représente la France debout sur son littoral, pendant la nuit, calme au milieu de la tempête, élevant d'une main un fanal, et tenant de l'autre un aviron et la trompette pour temps de brume. L'inscription est ainsi conçue :

GALLIA PRÆLVCENTE
TVTA NAVTIS LITTORA.

Elle a été composée par l'Académie des inscriptions et belles-lettres.

Sur le revers, une vue de mer représente des types de phares, de balises et de bouées, et au-dessous, en exergue, se lit l'inscription suivante :

1791. PHARE À RÉFLECTEURS PARABOLIQUES. TEULERE ET BORDA.
1823. PHARES LENTICULAIRES. AUGUSTIN FRESNEL.
1864. ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES PHARES DE LA HÈVE.
1875. ÉCLAIRAGE DES PHARES À L'HUILE MINÉRALE.
1878. LES CÔTES DE FRANCE SONT SIGNALÉES
PAR 372 PHARES, 760 BOUÉES
ET 1450 BALISES.

Cette médaille a été exécutée par M. Degeorge.

GALLIA PRENCIPE TUTA NAVIS LITTORA
DE FORGE

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS PHARES ET BALISES
1781 PHARES À RÉFLECTEURS PARABOLIQUES TEULÈRE ET BORDA
1823 PHARES LENTICULAIRES AUGUSTIN FRESNEL
1864 ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES PHARES DE LA HÈVE
1875 ÉCLAIRAGE DES PHARES À L'HUILE MINÉRALE
1878 LES CÔTES DE FRANCE SONT SIGNALÉES
PAR 372 PHARES, 760 BOUÉES
ET 1450 BALISES.

SIXIÈME SECTION.

CHEMINS DE FER.

XXIX

VIADUC DE POMPADOUR,

SUR LE TORRENT BOUCHAT,

LIGNE DE LIMOGES A BRIVES.

(COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS.)

Un modèle à $0^m,04$ pour mètre ($\frac{1}{25}$).
Un tableau, vue d'ensemble du viaduc.

Emplacement et dispositions générales. — Le viaduc de Pompadour est situé sur le chemin de fer de Limoges à Brives, à 7 kilomètres après la station de Pompadour et à 2500 mètres avant celle de Vignols-Saint-Solve. Il se compose de huit arches de 25 mètres d'ouverture et présente une longueur totale de 285 mètres; sa hauteur au-dessus du point le plus bas de la vallée est de 55 mètres.

Fondations. — Le viaduc est fondé sur le micaschiste; la roche est extrêmement dure et solide; toutefois, elle a été profondément disloquée par un soulèvement granitique qui s'est fait jour à moins de 2 kilomètres de distance, au-dessus du bourg de Vignols. Les bancs se sont redressés presque verticalement, et il a été souvent nécessaire d'employer la

mine pour régulariser le rocher ou pour enlever des blocs dont la stabilité était douteuse.

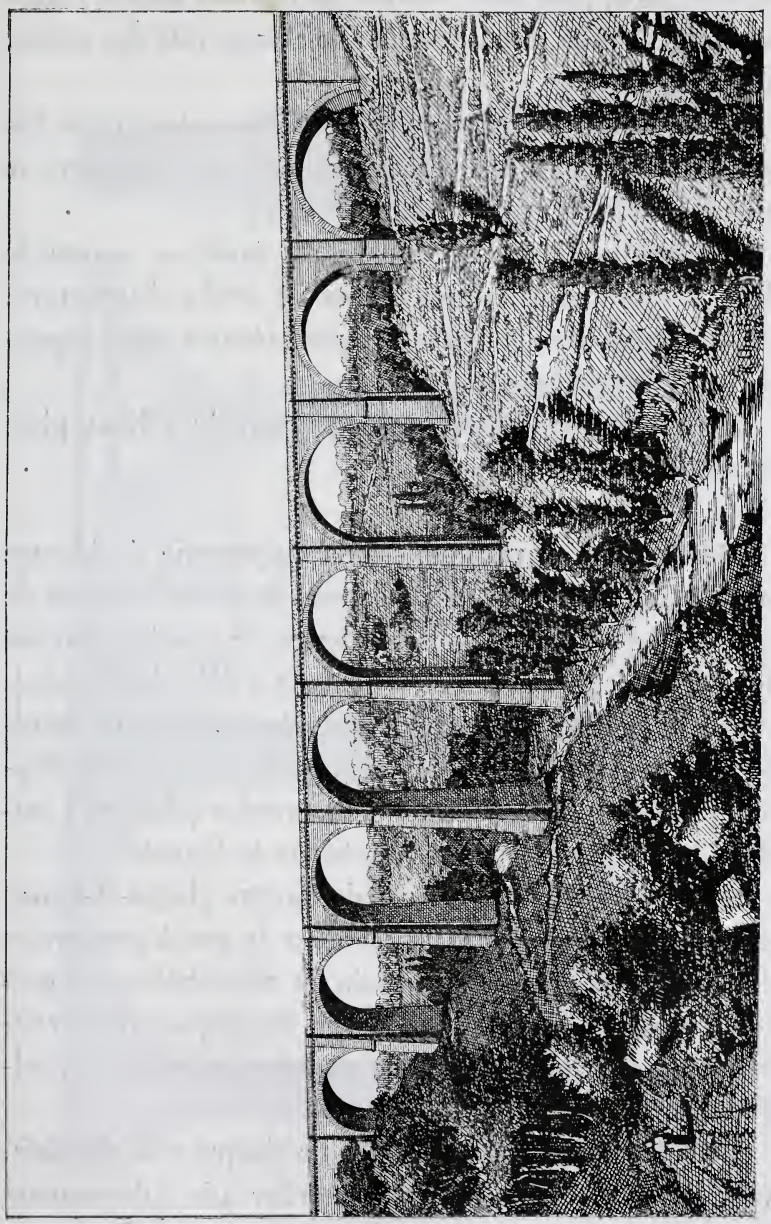
Les fondations de ce grand ouvrage n'ont, du reste, présenté aucune difficulté, et le terrain sur lequel il repose offre toutes les garanties de solidité désirables.

Mode de construction. — Le viaduc de Pompadour est établi pour une seule voie; sa largeur entre parapets est de $4^m,55$; au-dessus de chaque pile, il existe des garages de $1^m,90$ de longueur et de $0^m,30$ de profondeur, qui portent la largeur entre parapets, dans ces parties, à $5^m,15$.

Les piles ont $5^m,20$ d'épaisseur aux naissances et présentent à l'intérieur un fruit de $0^m,02$ par mètre et à l'extérieur un fruit de $0^m,03$; elles sont appuyées par des contreforts qui, au niveau des naissances, ont $2^m,70$ de largeur et font saillie de $1^m,32$ sur le nu des piles. Les contreforts, qui présentent à l'intérieur un fruit de $0^m,01$ et à l'extérieur un fruit de $0^m,07$, n'ont pas seulement pour effet de s'opposer au renversement de l'ouvrage, ils augmentent les superficies horizontales et diminuent ainsi les pressions. Ces pressions sont, par centimètre carré, pour les piles les plus élevées :

Aux naissances	$6^k,25$
A la base de la pile	$8^k,03$
A la base du socle	$7^k,64$
Sur le sol de fondation	$5^k,94$

Tous les parements sont formés de moellons têtués à bossages rustiqués; les angles saillants et rentrants et les bandeaux des voûtes sont construits avec des matériaux de même



nature; mais, pour bien dessiner les lignes et assurer l'exactitude de la pose, on a détaché, de chaque côté des arêtes, une ciselure de $0^m,03$ de largeur.

Les plinthes, les parapets et les tailloirs des contre frts sont les seules parties de l'ouvrage où l'on ait employé la pierre de taille.

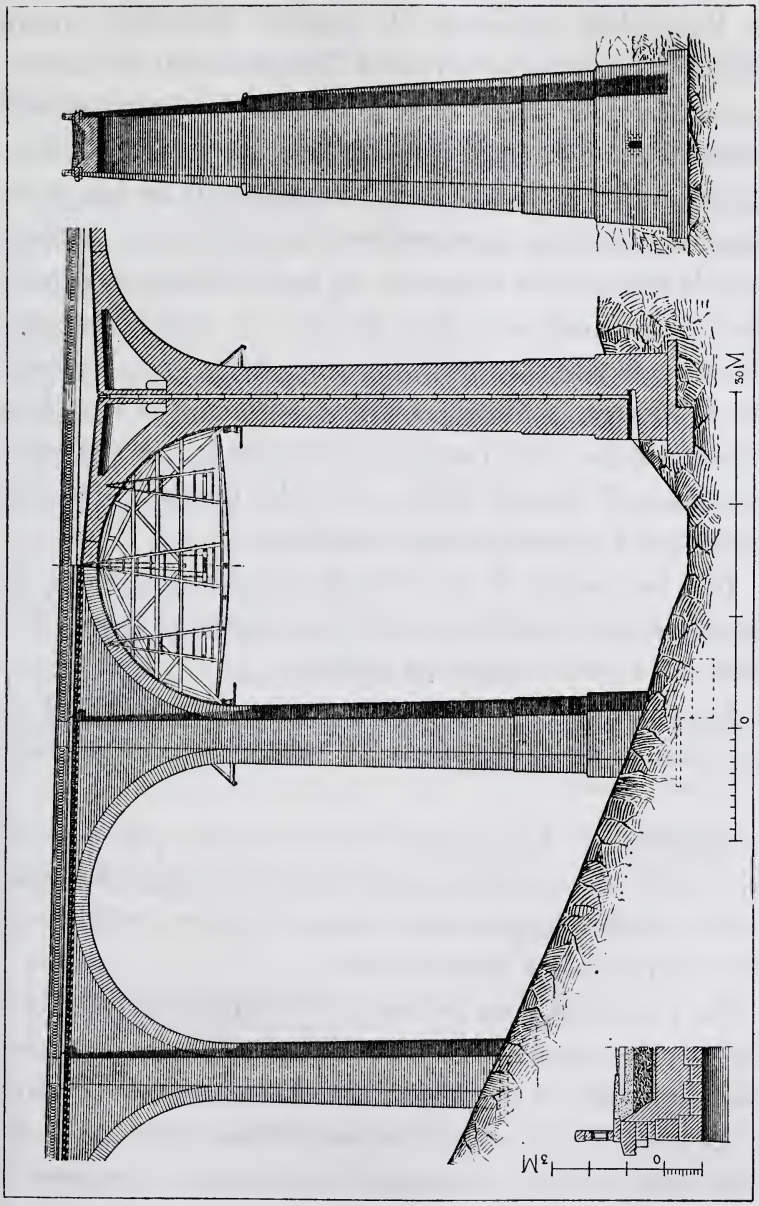
L'intervalle entre les tympans est évidé au moyen de deux petites voûtes longitudinales de $1^m,30$ d'ouverture, auxquelles on accède par des puits ménagés dans l'épaisseur des contreforts.

Pour l'ensemble du viaduc, le rapport du vide au plein est de 2,08.

Matériaux employés. — La maçonnerie de blocage est faite à la base avec des moellons tirés des carrières de granit qui dominent Vignols; au-dessus, le moellon provient des micaschistes qu'on trouve dans la vallée du Rouchat, aux abords de l'ouvrage, et des grès des environs de Saint-Solve et de Vignols. Les parements sont en grès de la Peyrolie; toutefois, à la base des deux grandes piles, on a employé le granit des carrières au-dessus de Vignols.

La chaux provient des fours de Paviers (Indre-et-Loire) et le sable a été pris dans les carrières de grès à gros grains situées à la sortie du souterrain de Saint-Solve; ce grès était broyé et soumis à un lavage énergique; il ne coûtait pas moins de 14 francs le mètre cube rendu à pied-d'œuvre.

Dans les voûtes, sur 6 mètres de chaque côté des clefs, on a ajouté par mètre cube de mortier 150 kilogrammes de ciment de la maison Demarle et Lonquety, de Boulogne.


0
30M
0
3M

Difficultés d'exécution. — La construction du viaduc de Pompadour présentait de grandes difficultés; aucun chemin n'existait pour arriver à l'emplacement du viaduc, aucune carrière n'était ouverte, et le chemin de grande communication n° 31, qui reliait Brives à Vignols, était incapable de supporter les lourds chargements de bois et de chaux destinés aux constructions. On a dû refaire entièrement la chaussée du chemin n° 31 sur 7 kilomètres et créer des chemins nouveaux pour accéder au viaduc. Beaucoup de carrières attaquées au début n'ont donné que des résultats médiocres, et lorsque enfin la carrière de la Peyrolie a été découverte, cette carrière se trouvant à 100 mètres en contre-bas du chemin de fer, il a fallu construire un plan incliné pour le transport des matériaux.

Une locomobile de la force de 30 chevaux, placée au sommet du plan incliné, servait à remorquer au moyen d'un câble les wagons chargés de pierres.

Les frais de ces travaux accessoires ont augmenté de 295 000 francs les dépenses de construction de l'ouvrage.

Cintres. — Les cintres étaient soutenus par des rails traversant les maçonneries des piles au niveau des naissances; chaque appui était composé de deux rails pesant 36 kilogrammes le mètre linéaire.

On s'est servi pour le levage des cintres d'un plancher supporté par quatre câbles en fil de fer fixés aux rails formant supports, et sur lequel étaient montées trois chèvres.

Le temps écoulé entre le clavage d'une voûte et son décintrement a été au maximum de cinquante et un jours et au minimum de vingt et un; le tassement sur le cintre a

varié de 0,022 à 0,041, et celui qui s'est produit lors du décintrement n'a pas dépassé 0,07.

Le cube des bois employés pour la construction d'un cintre est de 95 mètres.

La dépense pour un cintre s'est élevée à 9 200 francs.

Durée d'exécution. — Les travaux ont été commencés en régie au mois de juin 1873; les deux grandes piles furent montées, dans la campagne, jusqu'au-dessus du deuxième socle; les autres piles furent seulement élevées à quelques mètres au-dessus du sol. Les travaux, repris en mars 1874, furent arrêtés en novembre, au niveau des naissances. On commença la maçonnerie des voûtes le 15 mars 1875; la dernière arche fut clavée le 9 juillet suivant; l'ouvrage était totalement terminé à la fin d'octobre et livré à l'exploitation au mois de décembre 1875.

Les dépenses faites pour la construction du viaduc de Pompadour se résument ainsi qu'il suit:

NATURE DES TRAVAUX.	DÉPENSES	
	TOTALES.	par MÈTRE LINÉAIRE.
Abords, recherches de carrières, construction de chemins	295 000f	1 035f
Fondations	50 000	175
Piles et culées jusqu'aux naissances	350 000	1 228
Des naissances à la plinthe	350 000	1 228
Plinthes et parapets	65 000	228
Cintres	90 000	316
TOTAUX, non compris les dépenses accessoires.	905 000	3 175
TOTAUX, compris les dépenses accessoires	1 200 000	4 210

Les prix du mètre superficiel en élévation sont :

Non compris abords, carrières et chemins, 110 francs;

Compris abords, carrières et chemins, 146 francs.

Les prix moyens par mètre cube de maçonnerie de toute nature sont :

Non compris abords, carrières et chemins, 49 francs;

Compris abords, carrières et chemins, 65 francs.

Les projets ont été rédigés et les travaux exécutés sous la direction supérieure de M. Didion, inspecteur général des Ponts et Chaussées, délégué général du conseil d'administration de la Compagnie d'Orléans, et de M. Morandière, inspecteur général des Ponts et Chaussées, directeur des travaux neufs de cette compagnie, auquel a succédé M. Sévène, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Les ingénieurs qui ont rédigé les projets et fait exécuter les travaux sont M. Dupuy, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées et de la Compagnie d'Orléans, et M. Liébeaux, ingénieur de la Compagnie.

MM. Bouret et Moulinot, chefs de section, ont grandement contribué à la bonne exécution des travaux.

Enfin, M. Varinot, entrepreneur, a, par son énergie, son intelligence et son activité, assuré le succès de l'entreprise.

XXX

VIADUC DE L'ERDRE,

LIGNE DE NANTES A CHATEAUBRIANT.

(COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS.)

Un tableau, vue d'ensemble du viaduc.

Emplacement et dispositions générales. — Ce viaduc est situé sur la ligne de Nantes à Châteaubriant, à 6 kilomètres de la gare de Nantes.

Il a été construit pour franchir la rivière de l'Erdre, dont le lit, resserré entre deux roches granitiques, se réduit en ce point à 100 mètres de largeur. Dans toute l'étendue de la rivière, le solide ne se rencontre qu'à 20 mètres de profondeur, et la disposition adoptée a eu pour but d'éviter la construction de piles intermédiaires, qu'il eût fallu nécessairement fonder à l'aide de l'air comprimé.

L'ouvrage, établi pour deux voies, comprend deux parties en maçonnerie réunies par un arc métallique de 95 mètres d'ouverture, surbaissé au 1/8. Chacune des parties en maçonnerie a $46^{m},10$ de longueur et se compose de trois arches en plein cintre de 8 mètres d'ouverture, et de deux culées de $9^{m},35$ d'épaisseur; les rails sont à $18^{m},50$ au-dessus de l'étiage. La longueur totale de l'ouvrage est de $190^{m},20$ et sa largeur entre parapets de 8 mètres.

Fondations. — La culée rive gauche a été fondée par épuisement, dans une enceinte étanche, à $7^m,80$ au-dessous du niveau de l'eau.

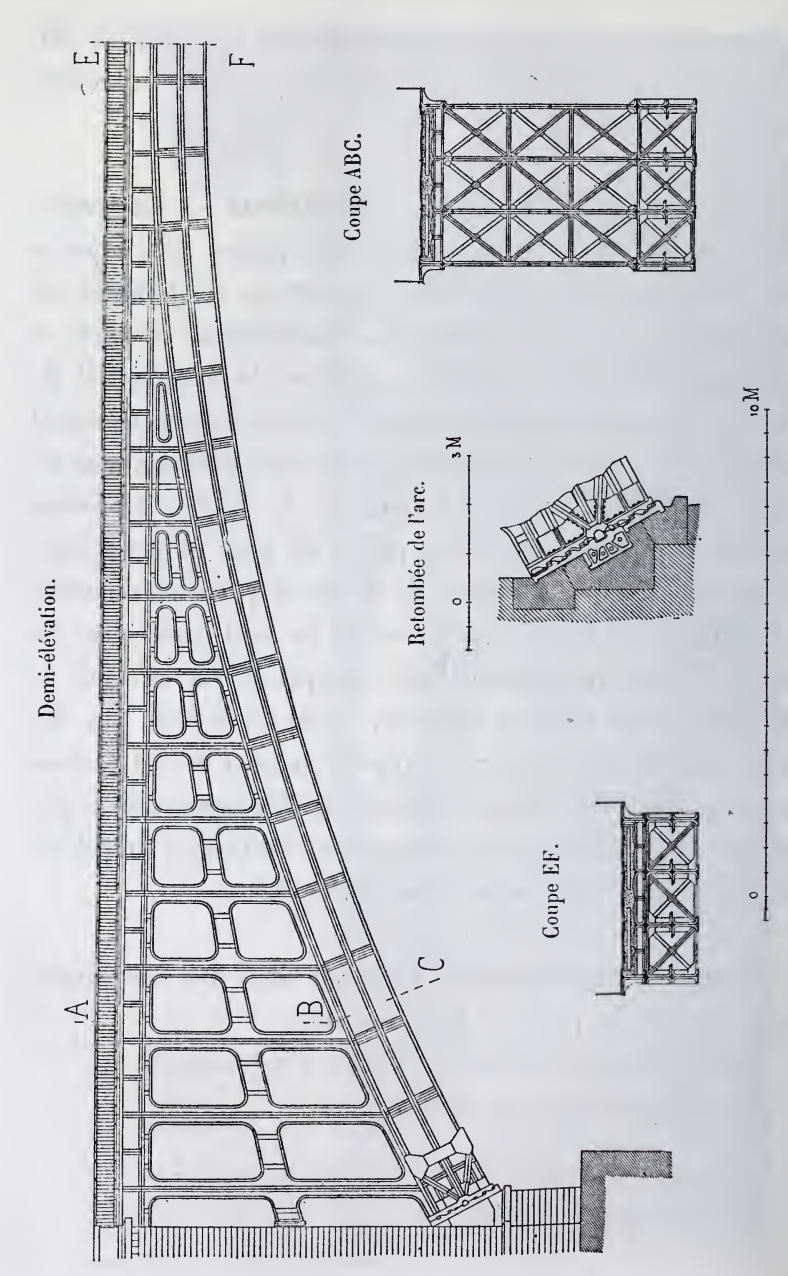
Description de la partie métallique. — La grande travée est en tôle; elle se compose de quatre arcs espacés de $2^m,20$ d'axe en axe; ces arcs ont $2^m,20$ de hauteur au sommet et $2^m,50$ aux naissances. L'ouverture, mesurée à la partie inférieure, est de 95 mètres; la montée est de $12^m,07$. Les tables supérieures et inférieures des arcs viennent se rejoindre près des culées et reportent les pressions sur un pivot en acier de $0^m,20$ de diamètre. Le tablier est formé de tôles embouties rivées aux pièces de pont et aux longerons; une couche de ballast de $0^m,50$ d'épaisseur recouvre le platelage, et la voie est posée sur le pont comme sur les autres parties du chemin. Pour compenser les effets de la dilatation, des chariots mobiles, reliés au tablier par des articulations, glissent sur des appuis en fonte encastrés dans la maçonnerie des culées; l'inclinaison des appuis est dirigée suivant la résultante de l'allongement horizontal du tablier et de l'allongement vertical des tympans.

Poids et dépenses. — Le poids total des fers, fontes et aciers est de 979 200 kilogrammes.

Soit, par mètre linéaire, 10 000 kilogrammes.

Les dépenses se sont élevées :

Pour les deux culées en maçonnerie, à.....	310 000^f
Pour la partie métallique, à.....	520 000
Ensemble.....	830 000


Demi-élévation.
A
B
C
E
F
Coupe ABC.
Retombée de l'arc.
0
3M
Coupe EF.
0
10M

Le prix du mètre linéaire, pour l'ensemble du viaduc, est de 4 364 francs.

Durée d'exécution. — Les travaux pour la travée métallique ont été adjugés à la Compagnie de Fives-Lille en février 1876; le cintre, qui a exigé l'emploi de 700^{mc} de bois, était achevé en avril 1877, et la mise au levage des arcs, commencée immédiatement; l'ouvrage fut terminé au mois de novembre de la même année.

Les projets ont été rédigés et les travaux exécutés sous la direction supérieure de MM. Didion, inspecteur général des Ponts et Chaussées, délégué général du conseil d'administration de la Compagnie d'Orléans; Solacroup, directeur de la Compagnie, et Sévène, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, directeur des travaux.

Les ingénieurs qui ont rédigé les projets et fait exécuter les travaux sont MM. Dupuy, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées et de la Compagnie d'Orléans; et Geoffoy, ingénieur de la Compagnie, avec le concours de MM. Lauras et Pépin, chefs de section principaux, et de Silguy, chef de section.

Les entrepreneurs qui ont concouru à l'exécution sont MM. Gougis et Leturc, pour les maçonneries, et la Compagnie de Fives-Lille, pour la partie métallique. MM. Lantrac et Lhoyd, chargés par la Compagnie de Fives-Lille des études et de l'exécution, ont apporté dans leurs travaux un soin minutieux qui a grandement contribué au succès de l'entreprise.

XXXI

VIADUC DE VEZOUILLAC.

(LIGNE DE RODEZ À MILLAU.)

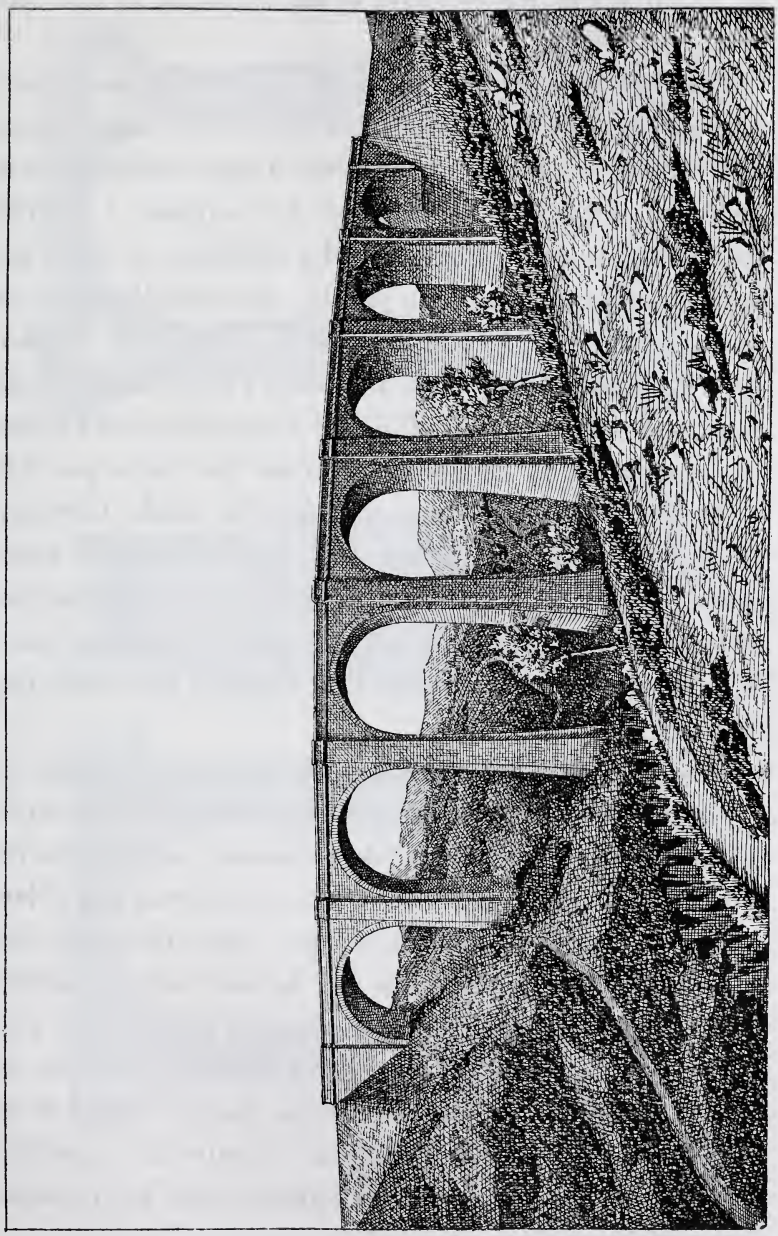
Une vue d'ensemble de l'ouvrage.

Emplacement et dispositions générales.—Le viaduc est situé au point où la ligne de Millau à Rodez rencontre le ravin de Vezouillac. Cet ouvrage se compose de sept arches en plein cintre de 16 mètres d'ouverture; il est établi pour deux voies dans une courbe de 300 mètres de rayon, et le profil en long de sa plate-forme présente une pente de $0^m,0321$ par mètre.

La hauteur maximum du viaduc est de 43 mètres par rapport au fond du ravin et de $44^m,52$ par rapport au sol de fondation. Sa superficie en élévation est de $4\ 445^m,50$, parapet non compris, et le volume total des maçonneries s'élève à 16 330 mètres.

Fondations. — Les piles et les culées sont fondées sur le calcaire argileux du lias, qui apparaît aux flancs du ravin.

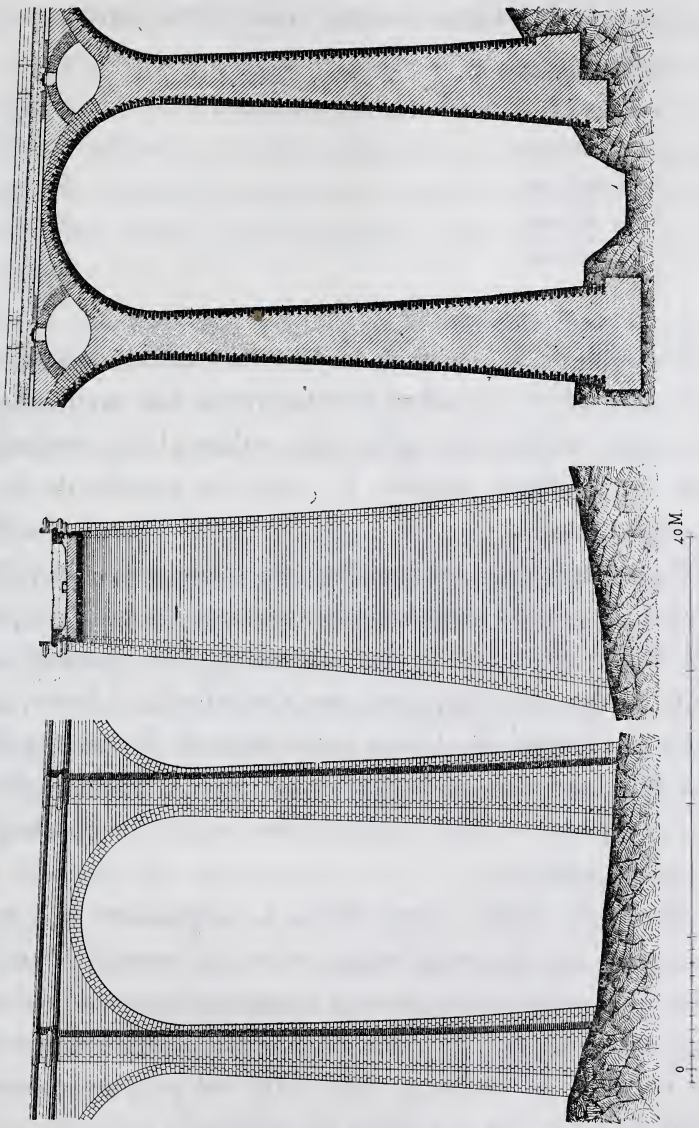
Mode de construction. — Les piles, au nombre de six, ont une section trapézoïdale justifiée par la courbure du viaduc; leur épaisseur, mesurée aux naissances, est



de $3^m,60$ sur la tête concave, et de $4^m,20$ sur la tête convexe.

Pour uniformiser les pressions sur les diverses assises, on a donné des fruits courbes aux parements; cette innovation transforme la pile en un solide d'égale résistance, sans qu'il soit nécessaire de ménager des retraites à diverses hauteurs. Par cette suppression des retraites, on laisse aux lignes verticales toute leur pureté; rien n'arrête l'œil, qui embrasse d'un seul coup la hauteur entière de l'édifice. Le seul écueil qui se présentait dans l'adoption des fruits courbes semblait être la difficulté d'exécution; on l'a évité en remplaçant la courbure continue des faces par une série de facettes planes inscrites dans la courbe théorique et qui se substituent à elle sans que l'œil en soit même averti. En fait, l'adoption de ce système n'a occasionné aucune sujétion et n'a point entraîné plus de dépenses que si les piles avaient présenté un fruit constant dans toute leur hauteur.

Pour s'opposer aux déversements latéraux des piles, on a exagéré les fruits courbes sur leurs petites faces et on les a appuyées par des contreforts présentant eux-mêmes des fruits courbes assez prononcés. Ces contreforts, qui s'élancent sans brisures jusqu'au parapet, ont une saillie plus forte sur la face convexe que sur la face concave, afin de résister à la force centrifuge développée par un train passant sur le viaduc. Ils dissimulent à l'œil, sur les faces latérales, les arêtes du polygone formé par les voûtes et les trapèzes des piles. Ils augmentent en outre les superficies horizontales des assises, et diminuent ainsi les pressions par unité de surface.


0
40M.

Ces pressions, pour lesquelles on s'était imposé une moyenne de 6 kilogrammes par centimètre carré, sont :

Aux naissances	$4^k,99$
A 5 mètres en contre-bas des naissances	5 ,57
A 10 mètres	6 ,03
A 15 mètres	6 ,27
A 20 mètres	6 ,28
A 25 mètres	6 ,17
A 30 mètres	5 ,98

L'emploi de la pierre de taille a été exclusivement limité à la corniche et au bahut des parapets. Les archivoltes et les angles saillants des piles, des culées et des contreforts sont en moellons piqués; le reste des parements est en moellons têtués.

On a supprimé tout cordon aux naissances des voûtes, et c'est seulement dans les archivoltes que le moellon piqué fait saillie sur le reste des parements. En écartant ainsi toute recherche d'appareil, on s'est attaché à laisser subsister seulement les lignes principales de la construction, afin de donner aux maçonneries un caractère d'homogénéité très rassurant, et qui convient d'une manière spéciale pour un grand ouvrage.

Dans un viaduc aussi élevé, la trépidation des trains s'exerçant sur un remplissage entre les murs des tympans pourrait produire des poussées dangereuses; pour les éviter, on a construit sur les reins de chacune des grandes voûtes un berceau de décharge dont l'axe est perpendiculaire à celui du pont. On a préféré ce système à celui des voûtes longitudinales, parce qu'on redoutait sur ces dernières l'effet combiné de la force centrifuge et des poussées. On a d'ail-

leurs eu soin de placer le centre de ces voûtes un peu en dehors des axes des piles; cette précaution a eu pour but de ramener vers le centre de chaque pile la résultante des actions verticales transmises par les deux demi-voûtes contiguës, résultante qui était déplacée, à raison de la pente donnée au viaduc. Des puits avec regards, ménagés sur l'axe de la plate-forme, permettent la visite des voûtes intérieures.

Pour l'ensemble du viaduc, en considérant la coupe longitudinale faite suivant l'axe de la voie, le rapport du vide au plein en élévation est de 1,82, et le cube moyen de maçonnerie par mètre superficiel en élévation est de $3^{m},67$.

Matériaux. — Les moellons de parement sont des grès de Verrières (Aveyron); les moellons employés dans l'intérieur sont calcaires et ont été fournis par les tranchées voisines de l'ouvrage, le sable a été pris dans le lit du Tarn; enfin, la chaux hydraulique dont on a fait usage provient de la cuisson de calcaires pris aux abords du viaduc, et a été fabriquée dans une usine installée spécialement par les ingénieurs.

L'intérieur des maçonneries des piles, au lieu d'être en libages ou en moellons smillés sur les lits, comme on l'a fait pour d'autres grands viaducs, est simplement en maçonnerie de moellons bruts. Les voûtes et les tympans de la face convexe ont été exécutés avec du mortier de ciment à prise lente.

Cintres. — Les cintres étaient soutenus par des rails traversant les maçonneries des piles au niveau des nais-

sances. Par arche, le cube de bois employé s'est élevé à $51^{m},79$, et la dépense du cintre a été de 3 400 francs environ. Le tassement au sommet, pendant la construction, a été moyennement de 0,003, et le tassement des voûtes, à la suite du décintrement, s'est élevé en moyenne à 0,004.

Dépenses. — Les dépenses faites pour la construction du viaduc de Vezouillac se résument ainsi qu'il suit :

NATURE DES TRAVAUX.	DÉPENSES	
	TOTALES.	par MÈTRE LINÉAIRE.
Fondations	65 619f,00	423f,62
Piles et culées jusqu'aux naissances	235 711,64	1 521,70
Des naissances à la plinthe	290 857,82	1 877,71
Cintres	23 788,29	153,57
Abords et travaux accessoires	28 024,00	180,92
TOTAUX au-dessus des fondations	578 381,75	3 733,90
TOTAUX, fondations comprises	644 000,75	4 157,53

Les prix par mètre superficiel en élévation sont :

Au-dessus des fondations, 130f,11; fondations comprises, 144f,87.

Enfin, les prix moyens par mètre cube de maçonnerie de toute nature sont :

Au-dessus des fondations, 35f,41; fondations comprises, 39f,44.

Le viaduc a été exécuté sous la direction supérieure de MM. LEFORT, BAUDARD et MARX, inspecteurs généraux des Ponts et Chaussées. Les ingénieurs qui ont rédigé les pro-

jets et dirigé les travaux sont M. Robaglia, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et M. Pader, ingénieur ordinaire.

Les chantiers ont été surveillés par MM. Longueville et Lamothe, conducteurs des Ponts et Chaussées.

L'entrepreneur était M. Chêne.

XXXII

VIADUC DE L'ALTIER,

LIGNE DE BRIOUDE A ALAIS.

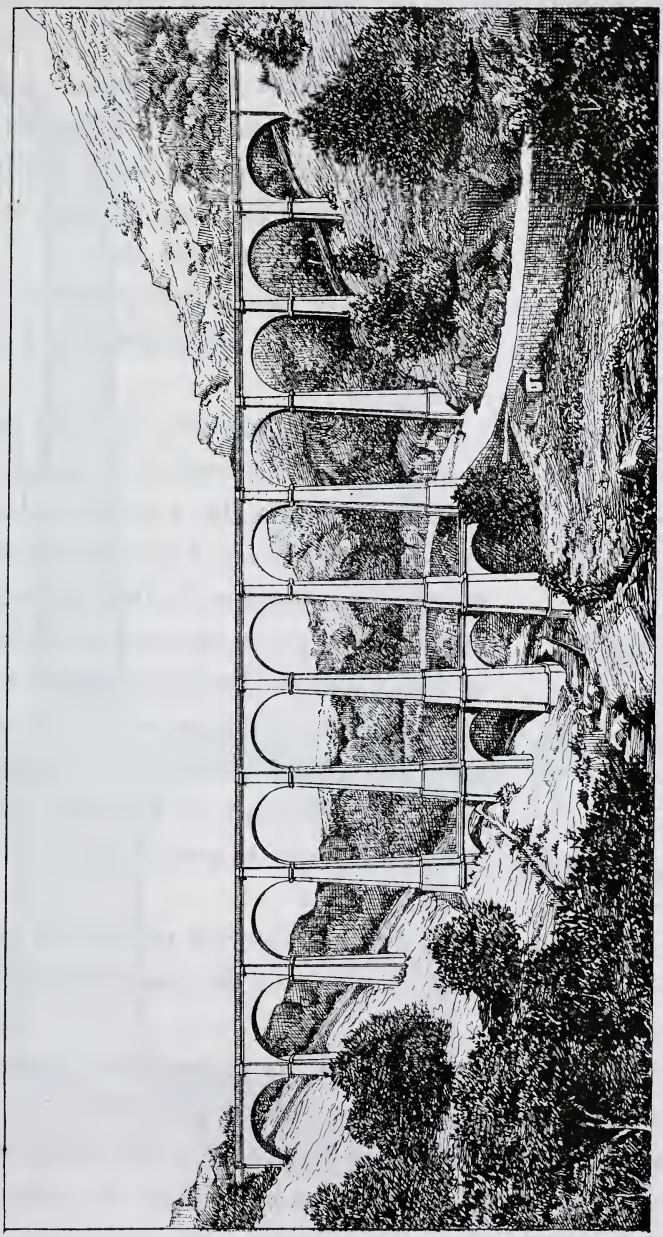
(COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DE PARIS A LYON ET A LA MÉDITERRANÉE.)

Une vue d'ensemble de l'ouvrage.

Emplacement et dispositions générales. — Ce viaduc, qui est l'ouvrage le plus important de la ligne de Brioude à Alais, a été construit pour la traversée de l'Altier, affluent de l'Ardèche, à environ 2 kilomètres de distance de Villefort (Lozère). Il décrit en plan une courbe de 400 mètres de rayon, et la voie présente une déclivité de $0^m,025$ par mètre. Sa plus grande élévation, depuis le rocher sur lequel reposent les fondations jusqu'au niveau des rails, est de $73^m,33$. Sa longueur, mesurée sur l'axe du chemin de fer, est de 243 mètres.

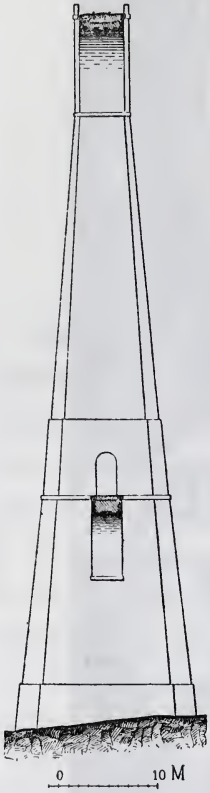
Cet ouvrage, établi pour une seule voie, est tout entier en maçonnerie et se compose de onze arches en plein cintre de 16 mètres d'ouverture, ayant $4^m,50$ de largeur entre les têtes. Les piles du milieu, c'est-à-dire les plus hautes, sont reliées dans le bas par d'autres voûtes, également en plein cintre, de 3 mètres de largeur entre les têtes, au-dessus desquelles règne une banquette pavée à $46^m,85$ en contre-bas des rails.

Des passages cintrés de 2 mètres d'ouverture et de 4 mè-



tres de hauteur sous clef ont été ménagés à travers les piles, au niveau de cette banquette.

Les piles ont 4 mètres d'épaisseur aux naissances et présentent, entre ces naissances et le couronnement des arches inférieures, un fruit de 3 p. o/o sur les faces latérales et de 6 p. o/o sur les faces des têtes.



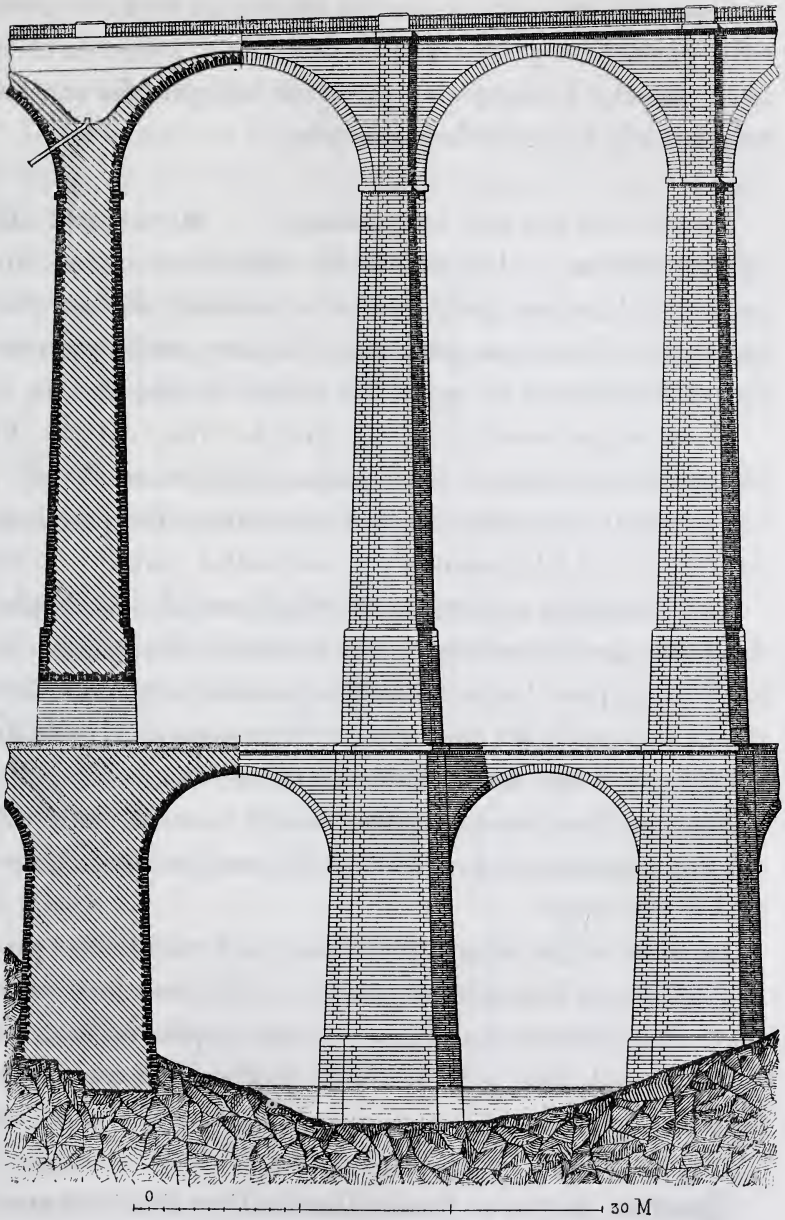
Au-dessous de ce couronnement, les fruits sont portés respectivement à 4 et à 7 p. o/o.

Les piles sont munies, sur leurs parements de tête, de contreforts ayant une largeur uniforme de 2 mètres et une saillie de $0^m,50$ entre le niveau de la voie et celui des naissances. Le fruit des contreforts est de 2 p. o/o sur les faces latérales et de 9 p. o/o sur les faces des têtes entre le niveau des naissances et le couronnement des arches inférieures. Au-dessous de ce couronnement, les fruits des contreforts sont portés respectivement à 2 1/2 et à 10 p. o/o.

Les piles présentent un socle en saillie de $0^m,25$ à $7^m,50$ en contre-haut du couronnement des arches inférieures.

Par suite de ces dispositions, la pression des maçonneries, par centimètre carré, ne dépasse pas $7^k,700$.

Quoique le viaduc soit en courbe, les voûtes sont cylindriques, et, par suite, la section horizontale des piles a la forme d'un trapèze.


0
30 M

L'ouvrage est couronné par un cordon de $0^m,45$ d'épaisseur, portant un garde-corps en fonte de 1 mètre de hauteur, rattaché à des dés en pierre de taille établis sur les culées et sur les contreforts des piles.

Nature du sol des fondations. — Matériaux de construction. — Les piles et les culées sont fondées sur un massif de schiste quartzeux, très résistant, déblayé jusqu'au vif et dérasé par gradins horizontaux sur lesquels reposent directement les premières assises de maçonnerie.

Tous les parements sont en grès du trias, extraits du plateau de La Garde, à 8 kilomètres de distance. Ce grès, très résistant, supporte, avant l'écrasement, des pressions de 250 à 300 kilogrammes par centimètre carré.

Les parements vus sont en moellons smillés; les angles des piles, des contreforts et des bandeaux des voûtes, en moellons piqués. Les cordons des couronnements des naissances et le socle des piles sont seuls en pierre de taille de même nature que les moellons de parement.

Les moellons ordinaires des massifs intérieurs sont des schistes quartzeux et proviennent de carrières ouvertes au pied de l'ouvrage.

Le sable est de nature granitique; on l'extrait d'une carrière située à 1 kilomètre du viaduc, à un niveau bien supérieur, et on l'amène à pied-d'œuvre par un plan incliné. Les mortiers sont faits avec la chaux hydraulique blutée de l'Homme-d'Armes.

Époque, durée et mode d'exécution des travaux. — Le viaduc de l'Altier a été commencé en juillet 1867 et

terminé à la fin de mai 1869. Il a donc été construit en moins de deux ans.

On a fait usage de quatre jeux de cintres.

Le tassement, au décintrement, variait de 0,006 à 0,008. Chaque jeu de cintres, comprenant quatre fermes, cubait $35^{m},280$.

Deux grues à vapeur ont été employées au levage des matériaux; leur hauteur était de 35 mètres et elles pouvaient se déplacer dans le sens horizontal, en roulant sur un pont de service élevé à 36 mètres au-dessus de l'étiage.

Volumes et dépenses. — Le volume total des maçonneries est de $26\,804^{mc}$, comprenant 425^{mc} de pierre de taille.

La surface des moellons smilés est de $12\,934^{mq}$.

La surface d'élévation de l'ouvrage, entre le terrain naturel et les rails (vides et pleins confondus), est de $9\,530^{mq}$.

Enfin, la dépense totale monte à 845 248 francs.

Il résulte des données ci-dessus que le mètre superficiel d'élévation (vides et pleins confondus) revient à 88 francs et que le prix moyen du mètre cube de maçonnerie est de 27 francs.

Ont participé à la rédaction du projet et à l'exécution des travaux, sous la direction de M. Molard, ingénieur des Ponts et Chaussées, sous-directeur de la construction des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée (réseau Sud) : MM. Dombre, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées et de la Compagnie; Jaubert, ingénieur de la Compagnie; Torcapel, chef de section principal, aujourd'hui ingénieur de la Compagnie.

XXXIII

VIADUC SUR L'AIN,

PRÈS DU VILLAGE DE CIZE,

CHEMIN DE FER DE BOURG A LA CLUSE, DÉPARTEMENT DE L'AIN.

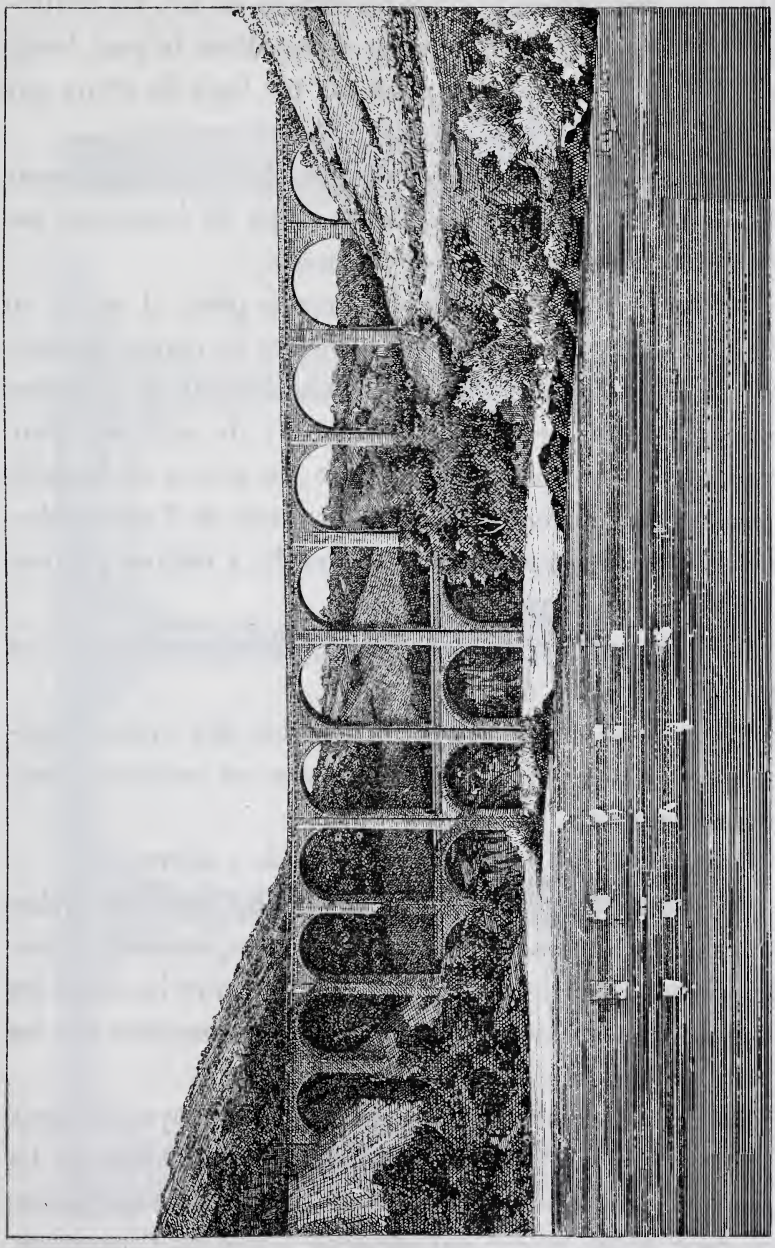
(COMPAGNIE DES DOMBES ET DES CHEMINS DE FER DU SUD-EST.)

Un tableau. Vue d'ensemble du viaduc.

Dispositions générales. — Le chemin de fer de Bourg à La Cluse, après avoir traversé en tunnel la montagne de Racouze, franchit l'Ain, près du village de Cize, au moyen d'un viaduc de $268^{m},90$, dont la plus grande hauteur, mesurée depuis le fond de la rivière jusqu'au niveau des rails, est de 55 mètres.

Dimensions essentielles. — Description. — Le viaduc, construit pour une seule voie, est entièrement exécuté en maçonnerie.

L'ouvrage est formé de deux étages : l'étage supérieur comprend onze arches en plein cintre de 20 mètres d'ouverture chacune, ayant toutes leurs naissances à la même hauteur. La largeur de ces arches est de $4^{m},60$ entre les têtes; elles sont portées sur des piles renforcées par des contreforts rectangulaires de $2^{m},40$ de largeur uniforme.



Dans le sens perpendiculaire au chemin de fer, ces contreforts ont un fruit de $0^m,05$ par mètre. Dans le sens longitudinal de l'ouvrage, les piles ont un fruit de $0^m,02$ par mètre.

Chaque pile affecte donc, en plan, la forme d'une croix à branches de largeurs constantes, mais de longueurs variables à cause des fruits des parements.

Entre les fûts des huit plus hautes piles, il existe un étage d'arches inférieures de 10 mètres de rayon, surbaissées, formant arcs-boutants, et d'une largeur de 4 mètres entre les têtes. Ces arches, au nombre de sept, sont couronnées par une plate-forme pavée, au niveau de laquelle les piles sont percées, suivant la direction de l'axe du chemin de fer, de baies en plein cintre de 2 mètres d'ouverture donnant un passage continu.

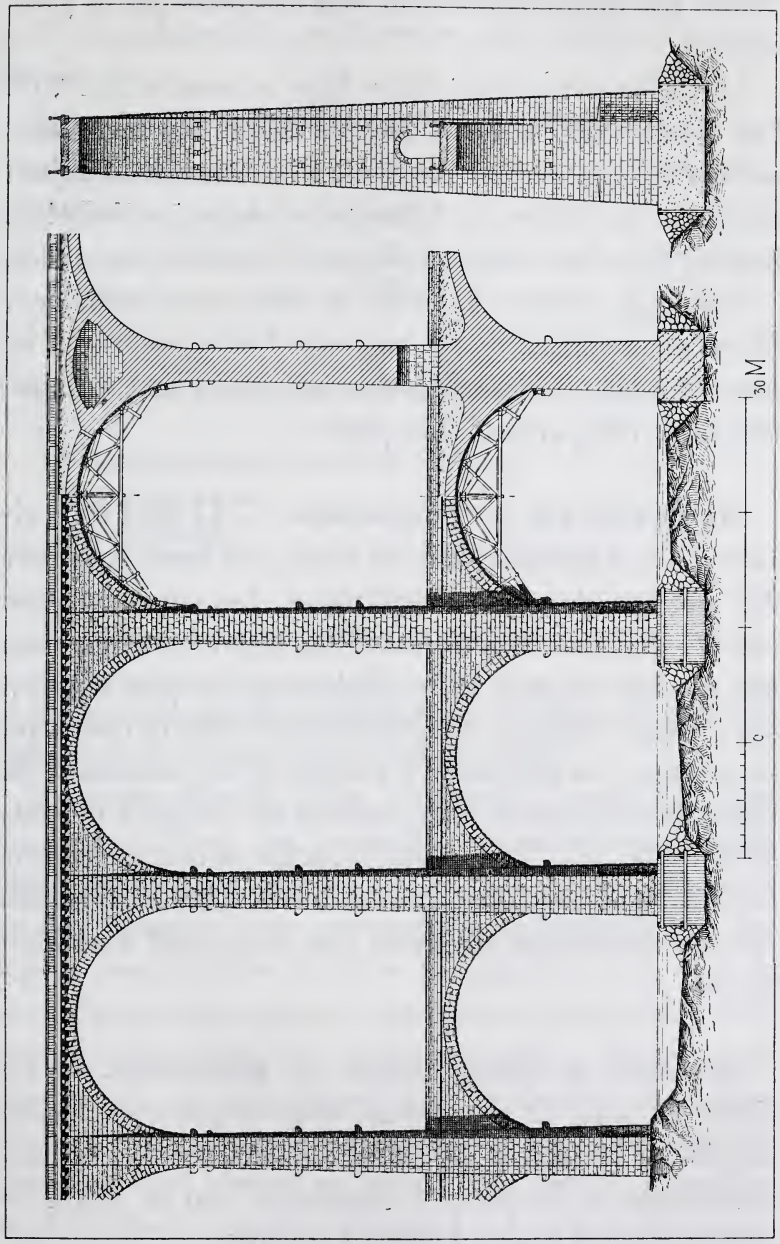
La hauteur de cette plate-forme inférieure est de $20^m,90$ au-dessus du fond de la rivière.

L'épaisseur des piles, aux naissances des arches supérieures, est de $2^m,80$. Cette épaisseur est constante pour toutes les piles.

L'épaisseur des voûtes à la clef est de 1 mètre.

Au-dessus des piles, et pour alléger les reins des arches supérieures, on a construit des voûtes longitudinales destinées à diminuer le cube du remplissage entre les murs des tympans. Ces voûtes de décharge sont masquées par les tympans.

La culée du côté de Bourg est évidée au moyen de deux voûtes de 3 mètres d'ouverture. La culée du côté de La Cluse est aussi évidée, au moyen de six voûtes superposées sur deux rangs, et qui ont chacune 3 mètres d'ouverture.


0
30 M

Toutes ces voûtes d'évidement sont masquées par le parement.

Le viaduc est recouvert d'une chape en mortier de $0^m,03$. Les écoulements d'eau se font au moyen de barbacanes ménagées dans les reins des voûtes. La hauteur du ballast au-dessus des voûtes de décharge est de $0^m,50$; la même hauteur de ballast existe au-dessus de l'extrados des arches.

Enfin, un cordon en pierre de taille, avec modillons, faisant une saillie de $0^m,25$, couronne l'ouvrage et reçoit un parapet évidé à jour. Les arches inférieures sont surmontées aussi d'un parapet, mais plein.

Nature du sol. — Fondations. — Le fond de la rivière d'Ain, à l'emplacement du viaduc, est formé de gravier dur mélangé de gros cailloux roulés. Les piles en rivière ont été établies sur un massif de béton immergé dans une enceinte de pieux et de palplanches. Ces piles reposent sur un fond composé de gros blocs de rochers roulés qui se trouvent, en moyenne, à environ $2^m,50$ au-dessous du sol naturel. Les autres piles, établies sur les deux versants de la vallée, sont fondées sur le rocher, à une profondeur moyenne de 2 mètres au-dessous du sol. Les fondations des piles en rivière sont entourées d'un fort massif d'enrochements.

Système de construction. — Matériaux. — Le viaduc est construit en moellons têtués disposés par assises régulières; l'intérieur est en maçonnerie brute. Les couronnements et les parapets supérieurs sont en pierre de taille seulement têtuée et taillée à la pointe.

La chaux employée pour les fondations vient du Theil. Celle des maçonneries en élévation provient de Virieu-le-Grand.

Les cubes des maçonneries sont les suivants :

Fondation	817^{mc}
Élévation, parapets non compris	12 974
Total	13 791

Le cube de la maçonnerie en élévation se répartit ainsi :

Maçonnerie de moellons têtués	4 674^{mc}
Maçonnerie brute	7 994
Pierre de taille	306
Total	12 974

Les travaux ont été commencés le 4 juillet 1872 et terminés à la fin du mois de novembre 1875.

La construction du viaduc a nécessité l'emploi d'un pont de service. C'était une passerelle américaine sur laquelle était installée une voie de $0^{m},60$ amenant les matériaux au lieu d'emploi. Cette passerelle était supportée par des bigues posant sur les retraites des piles 4, 5, 6, 7 et 8, et reliées par des moises et des croix de Saint-André. Elle était établie suivant l'axe même du viaduc. Au-dessus de chaque pile, on avait ménagé dans le plancher une trappe destinée à livrer passage au mortier qu'amenaient des wagonnets à fond mobile; au moyen d'un couloir, le mortier tombait directement dans les auges des maçons. Les maté-

riaux arrivaient sur des trucks par des voies de $0^m,60$ reliant ensemble les lieux de dépôt et d'emploi. Chacun de ces trucks portait un bayart à caisse qu'on descendait sur les piles au moyen d'un treuil fixé sur un plancher à l'extrémité de chaque groupe de quatre poteaux. Quant aux matériaux des voûtes, ils étaient descendus par le même procédé, mais le treuil était disposé sur un échafaudage mobile qui roulait au moyen de galets sur une voie placée de chaque côté de la passerelle. On élevait le pont de service suivant les besoins, et pour cela on appuyait les bigues successivement sur des corbeaux réservés, à cet effet, à différentes hauteurs. Chaque levage du pont de service se faisait sur environ 8 mètres.

Pour la construction des arches, on a employé des cintres faits de quatre fermes. Ces cintres reposaient sur des corbeaux. Il y avait toujours environ six cintres en place, et, à mesure de l'avancement, on décintrait une arche terminée pour reporter son cintre sur un autre point. L'appareil de décintrement était un cylindre creux en fer, rempli de sable aux deux tiers de sa hauteur; dans son intérieur s'emboîtait un autre cylindre plein en bois, qui descendait à mesure que le sable s'échappait par le bas. Cet appareil était placé entre deux rangs de semelles.

Superficie. — Pressions. — La superficie verticale de l'ouvrage (vides et pleins confondus) est de $9\,830^{mq}$, dont $2\,908^{mq}$ pour les pleins et $6\,922^{mq}$ pour les vides, les mesures étant prises du dessus des fondations jusqu'au-dessus du couronnement. Le rapport des vides aux pleins est de 2,38. Le cube de la maçonnerie par mètre carré

d'élévation (vides et pleins confondus) est de $1^m,310$. Les pressions, par centimètre carré, sont les suivantes :

Aux naissances supérieures	$6^k,34$
Au niveau de la plate-forme des arches inférieures	10,75
Au niveau du dessus des fondations	10,15

Dépenses. — Les dépenses d'exécution du viaduc se sont élevées à $308\,948^f,78$, ce qui correspond à $38^f,42$ par mètre superficiel d'élévation (vides et pleins confondus) et à $20^f,55$ par mètre cube de maçonnerie.

Les dépenses se sont réparties de la manière suivante :

Fondations	$34\,001^f,24$
Enrochements	8 300,00
Élévation	266 647,54
Total	308 948,78

Le projet a été dressé par M. Lucien Mangini, président du conseil d'administration de la Compagnie.

Les travaux ont été exécutés par MM. Dapples, Le Brun et Dalinzy, sous la direction de M. Mangini.

XXXIV

PONT DE PORT-SAINTE-MARIE,

SUR LA GARONNE.

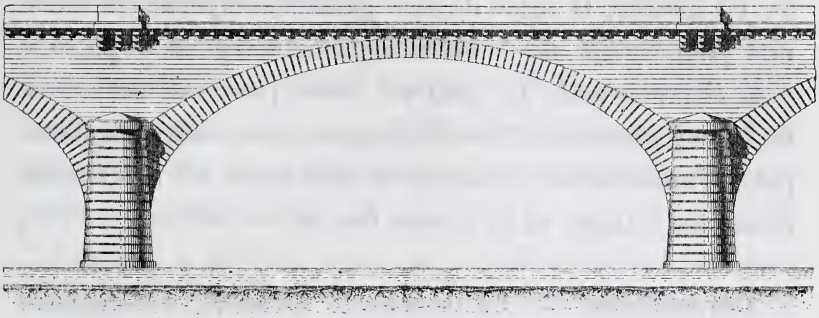
(CHEMIN DE FER DE CONDOM A PORT SAINTE-MARIE.)

Emplacement et dimensions principales. — Le pont construit sur la Garonne par l'État, pour le chemin de fer de Condom à Port-Sainte-Marie (réseau du Midi), est situé à 3 000 mètres environ en aval de Port-Sainte-Marie, à 7 kilomètres en amont du confluent de la Garonne et du Lot. Il comprend huit arches en maçonnerie de 32 mètres d'ouverture chacune, et présente par suite un débouché linéaire de 256 mètres; son débouché superficiel au-dessous de la crue du 23 juin 1875 est de 2 268^{mq}. Il est accompagné d'ouvrages de décharge dans la plaine submersible, savoir :

1° Sur la rive gauche, trois viaducs, composés chacun d'une arche en maçonnerie de 16 mètres d'ouverture;

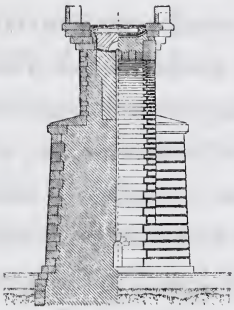
2° Sur la rive droite, quatre viaducs : le premier formé de huit arches en maçonnerie de 16 mètres d'ouverture, le deuxième de treize arches en maçonnerie de 16 mètres, le troisième d'une travée métallique de 25 mètres, le quatrième de cinq travées métalliques de 25 mètres.

L'ensemble des ouvrages donne ainsi un débouché linéaire de 790 mètres, et un débouché superficiel, au-dessous de la crue de juin 1875, de 4 055^{mq}.

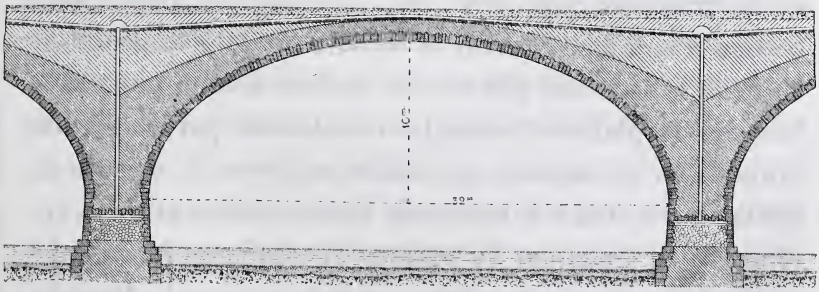


Élévation d'une arche.

Demi-coupe transversale d'une pile.



Demi-coupe transversale d'une arche.



Coupe longitudinale.

Les arches du grand pont sont elliptiques; la montée est de 10 mètres; la culée de rive gauche comprend en outre une petite arche de 3 mètres d'ouverture pour le passage d'un chemin rural. Le pont est établi pour une seule voie de fer et présente $4^m,50$ de largeur libre entre les parapets; l'intrados des voûtes à la clef est à 13 mètres au-dessus de l'étiage, et le niveau des rails à $15^m,11$.

Fondations. — Le fond de la Garonne, à l'emplacement du pont, consiste en un banc de marne argileuse, passant sur certains points au sable compact que l'on désigne dans le pays sous le nom de « tuf » : le tout à nu ou recouvert d'une couche de gravier de $0^m,50$ au plus. La profondeur d'eau au-dessous de l'étiage est de 1 mètre à $1^m,50$; mais cet étiage se présente rarement, et, pendant toute la période des fondations en 1876, les eaux l'ont surmonté de $1^m,50$ ou même de 2 mètres.

Sur les berges, on trouvait le sol solide au même niveau qu'en rivière, mais à 5 à 6 mètres en contre-bas du sol; au-dessus étaient des sables et des graviers. Sur la rive gauche, on a fondé par épuisement la culée, et la première et la deuxième pile dans des enceintes de palplanches battues à la sonnette avant le déblai; sur la rive droite, la culée et la septième pile ont été fondées dans des enceintes formées de planches verticales maintenues par des cadres horizontaux et battues au maillet au fur et à mesure du déblai. Ce système a donné de bons résultats et a été appliqué à la fondation de viaducs de décharge jusqu'à des profondeurs de 7 à 8 mètres au-dessous du sol, dans des terrains plus ou moins aquifères. Les deux culées et les

trois piles sur berge ont été assises sur le banc de marne convenablement dérasé.

En rivière, on a fondé également par épuisement dans des batardeaux. Le travail a présenté d'assez grandes difficultés par suite des crues continuelles des années 1875 et 1876, qui ont emporté plusieurs fois les batardeaux et les ponts de service.

Lorsque le tuf était à nu, on y forait à l'avance les trous où devaient pénétrer les pieux des batardeaux et des ponts de service; là où le gravier empêchait le forage, on employait des sabots terminés par une tige en fer carrée de $0^m,50$ de longueur environ et de $0^m,03$ à $0^m,05$ de côté; ces pieux, battus avec précaution, s'enfonçaient bien dans le tuf et étaient difficiles à arracher, tandis que les pieux battus avec des sabots ordinaires, même dans des trous forés, étaient enlevés par soulèvement; mais ils pouvaient se renverser, et il fallut enrocher fortement le pourtour des batardeaux et les palées des ponts de service.

Les batardeaux une fois construits furent remplis d'argile bien pilonnée et s'épuisèrent assez facilement : aux piles n°s 3 et 4, on déblaya le tuf à 2 mètres au-dessous de la rivière; aux piles 5 et 6, le tuf devenant sablonneux, on descendit à 6 mètres et à $6^m,50$ au-dessous du fond, c'est-à-dire à 9 mètres et à $9^m,50$ au-dessous de la partie supérieure des batardeaux; ces grandes fouilles purent être maintenues au moyen de blindages de peu d'importance.

Les épuisements ont été faits au moyen de trois machines à vapeur locomobiles, dont une de 10 chevaux et deux de 4 chevaux actionnant des pompes centrifuges du système Neut et Dumont.

Toutes les fondations ont été exécutés en maçonnerie avec parement en gros libage.

Mode de construction. — Les avant-becs des piles et les bandeaux des voûtes sont en gros blocs de pierre de taille de $0^m,50$ à $0^m,35$ d'épaisseur; les lignes d'assises des avant-becs et les lignes de joints des voussoirs sont marquées par des refends.

La douelle et les tympans sont formés par des moellons parementés ou smillés, qu'on ne peut mieux définir qu'en les appelant des libages de petit appareil; en douelle, sur trois assises du bandeau, une correspond à un seul moellon, et les deux autres chacune à deux épaisseurs de moellon.

Les reins des voûtes ont été remplis en béton maigre, recouvert par une chape en béton ordinaire de $0^m,10$ d'épaisseur et une chape en bitume de $0^m,012$ d'épaisseur; un enduit en bitume a été également appliqué sur le revers des tympans; l'écoulement des eaux se fait par l'axe des piles, au moyen de tuyaux en fonte qui aboutissent à des voûtes de $0^m,60$ d'ouverture percées à travers les piles au-dessous des naissances.

Le pont est couronné par une plinthe de $0^m,35$ d'épaisseur, reposant sur des modillons carrés, et par un parapet en pierre de $0^m,24$ d'épaisseur. Au-dessus de chaque pile est une niche de garage portée par de grandes consoles en pierre formées de trois assises en saillie les unes sur les autres.

Matériaux employés. — La pierre de taille, les

moellons d'assise et de blocage proviennent des carrières de Vianne-sur-Baïse, à 7 ou 8 kilomètres du pont; les matériaux arrivaient par eau jusqu'au canal latéral à la Garonne; là, ils étaient débarqués, chargés sur wagons et transportés au chantier au moyen d'une voie de 1 500 mètres de longueur.

Les moellons piqués constituant les deux assises inférieures du parapet sont en pierre de Chancelade, près Périgueux. La chaux employée était la chaux du Theil; le mortier était composé de 300 kilogrammes de chaux pour $0^{mc},900$ de sable.

Ponts de service. — On établit, en amont et en aval, des ponts de service munis de rails pour la manœuvre des grues; celui d'amont présentait en outre deux rails ordinaires pour le transport de matériaux. Le tablier des ponts de service était à 7 mètres au-dessus de l'étiage. Au droit de l'arche marinière, les deux tabliers étaient mobiles : on les soulevait, au moyen de treuils fixés sur un échafaudage, à une hauteur pouvant atteindre à $11^{m},20$ au-dessus de l'étiage. Les grues roulantes étaient au nombre de trois.

Cintres. — On employa quatre types de cintres :

Le cintre ordinaire reposait sur cinq points d'appui; deux de ces points d'appui étaient fournis par les socles des piles et les trois autres par des files de pieux dont une double au milieu de l'axe. A la suite d'une crue, on reconnut que ces cintres formaient barrage en rivière; on leur donna plus de débouché en supprimant les moises inférieures des deux côtés de la palée centrale et le poinçon.

Le cintre marinier était une ferme américaine donnant 14 mètres de passage libre à la navigation et reposant sur quatre points d'appui : les socles des piles et deux doubles files de pieux.

Enfin, un quatrième cintre a été fait en vue d'utiliser les bois aprovisionnés pour un premier cintre marinier qui ne devait avoir que 12 mètres de passage libre. Il reposait, comme les cintres ordinaires, sur cinq points d'appui; mais ces points d'appui étant plus élevés, les bateaux de petite dimension pouvaient passer par-dessous.

On a construit six cintres pour les huit voûtes; les cintres des arches n°s 1 et 2 ont été réemployés aux arches n°s 7 et 8.

Les cintres portaient sur des boîtes à sable. Malgré les précautions prises pour les envelopper de plâtre et de ciment, le sable s'est trouvé mouillé lors du décintrement, et il a fallu le tirer au moyen de petits crochets en fer; néanmoins les décintrements se sont partout effectués très régulièrement. On doit de plus signaler ce fait, que des boîtes à sable, noyées par une crue avant d'avoir été enveloppées, ont été vidées et renversées, que le cintre a ainsi perdu plusieurs de ses points d'appui et s'est déformé.

Les cintres ont donné de bons résultats. Leur tassement au sommet pendant la construction de la voûte a été de 0,04 environ en moyenne et de 0,08 pour le cintre marinier. Le tassement des voûtes au décintrement a été très faible; il a varié de 0,00 à 0,025; à peine a-t-on remarqué une légère fissure à l'extrados de certaines voûtes en prolongement du joint de rupture.

Durée d'exécution des travaux. — Les travaux ont été adjugés le 19 septembre 1874; dans le reste de l'année, on a fait les installations nécessaires et ouvert les carrières. Au mois de mai 1875, on a commencé les fondations de la première pile; les chantiers furent bientôt bouleversés par la crue du mois de juin 1875, et l'on ne put reprendre les fouilles qu'en juillet; les installations en rivière, menées avec activité pendant les mois d'août et de septembre, comprenaient déjà deux batardeaux complets, les pieux pour les deux autres batardeaux et pour les ponts de service, lorsqu'une nouvelle crue les détruisit entièrement le 15 septembre. Les travaux, continués à terre, furent encore gênés par une crue en novembre; on ne put reprendre la pile n° 3 en rivière qu'au mois de décembre, à l'étiage d'hiver, et cette pile fut fondée en janvier et février 1876.

En mars et avril, les batardeaux des piles n°s 4 et 5 et le pont de service furent encore emportés. On ne se remit à l'œuvre qu'au mois de juin; en juillet, août et septembre, on fonda les trois piles en rivière n°s 4, 5, 6, la pile n° 7 à terre et la culée de rive droite. On commença la pose des cintres au mois d'août et la maçonnerie des voûtes le 9 septembre.

Ces travaux marchèrent rapidement, et, quatre mois après, le 6 janvier 1877, la huitième voûte était clavée; elle fut décintrée le 29 janvier. L'exécution des tympans suivit, et la pose des parapets fut terminée en novembre 1877. La construction du pont, au milieu des obstacles apportés par les crues, a donc duré trois ans environ.

Dépenses. — Les dépenses pour le pont seul monteront à peu près aux chiffres suivants :

Dépenses à l'entreprise	780 000f
Indemnités à l'entrepreneur pour avaries et dommages causés par les crues de la Garonne	57 000
Dépenses en régie, y compris la réfection des ouvrages démolis par les crues	250 000
Total	1 087 000

soit 3 500 francs environ par mètre courant de longueur du pont; ce chiffre est élevé pour un pont à une voie, mais il s'explique par les difficultés qui se sont rencontrées.

Les projets ont été rédigés et les travaux exécutés, sous la direction de M. Faraguet, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, par M. Pettit, ingénieur ordinaire, secondé par M. le conducteur Marchand. L'entrepreneur était M. Langlade (Justin).

SEPTIÈME SECTION.

DOCUMENTS GÉNÉRAUX.

XXXV

DIRECTION GÉNÉRALE DES CHEMINS DE FER.

STATISTIQUE CENTRALE DES CHEMINS DE FER.

La Direction générale des chemins de fer expose une collection de volumes publiés à diverses époques :

1° *Répertoire méthodique de la législation des chemins de fer français* (1 volume in-4°, 5e édition, 1879). Ce répertoire présente, à la date du 1er août 1879, une énumération complète des textes, lois, décrets et arrêtés, concernant les chemins de fer;

2° *Situation des chemins de fer français au 31 décembre des années 1875, 1876, 1877 et 1878* (4 volumes in-4°). Cette publication fait connaître les longueurs des réseaux, leur formation chronologique, les rapports des longueurs par département avec la superficie et la population, les relevés des pricipales localités desservies, etc. Elle comprend non seulement les lignes d'intérêt général, mais encore celles d'intérêt local et les chemins industriels. Chacun de ces volumes contient une carte des chemins de fer français, et le volume se rapportant à l'année 1878 renferme, en outre,

une carte des chemins de fer algériens, dont la situation est annexée à celle des chemins de fer français au 31 décembre 1877 et au 31 décembre 1878;

3° *Documents financiers sur les chemins de fer français* (1 volume in-folio, année 1868);

4° *Conditions techniques d'établissement des chemins de fer français* (1 volume in-folio, année 1865);

5° *Documents relatifs à la construction et à l'exploitation des chemins de fer* (1 volume in-4°, année 1872). Le service de la statistique des chemins de fer publie, au fur et à mesure qu'il en a les éléments, une série de fascicules destinés à se fondre en un volume embrassant la période 1870-1879 et devant faire suite au recueil paru en 1872.

6° *Documents statistiques sur les chemins de fer français relatifs aux années 1868 et 1876* (2 volumes in-folio). Les documents statistiques relatifs aux années 1868 et 1876 comprennent, pour chacune de ces deux années, dans une série de 20 tableaux, les renseignements les plus intéressants sur l'établissement des chemins de fer français et sur leur exploitation.

Les cadres de ces tableaux sont conformes à ceux présentés par M. de Franqueville, directeur général des Ponts et Chaussées et des chemins de fer de France, au deuxième congrès de statistique générale, siégeant à Paris en 1855. Le projet de M. de Franqueville fut adopté, en principe, par le congrès comme devant servir de type aux différents États de l'Europe pour la préparation d'une statistique internationale des voies ferrées;

7° *Chemins de fer de l'Europe.* Recettes comparatives des années 1862 et 1861 (1 volume in-4°);

8° *Chemins de fer de l'Europe.* Résultats généraux de l'exploitation (années 1862 à 1869, 5 volumes in-folio).

Le service de la statistique centrale des chemins de fer relève de la Direction générale des chemins de fer. Il a été organisé en 1846, sous le ministère de M. Dumon, par M. Teisserenc de Bort.

Il constitue aujourd'hui une division de la Direction de la construction des chemins de fer, sous l'autorité de MM. Véron-Duverger, inspecteur général des Ponts et Chaussées, directeur général des chemins de fer, et Fournier, directeur de la construction des chemins de fer.

Ce service est dirigé par MM. Systermans, chef de division; Cochin et Moreau, chefs de bureau.

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS.

DOCUMENTS RELATIFS À LA STATISTIQUE DES CHEMINS DE FER.

Chemins de fer de l'Europe. Résultats généraux de l'exploitation. Années 1862 à 1869. Paris, Imprimerie nationale, 1862 à 1869, 5 vol. in-f°.

Documents relatifs à la construction et à l'exploitation. Paris, Imprimerie nationale, 1872, 1 vol. in-4°.

Documents statistiques relatifs aux années 1868 et 1876. Paris, Imprimerie nationale, 1868-1876, 2 vol. in-f°.

Répertoire méthodique de la législation des chemins de fer français. Paris, Imprimerie nationale, 1879, 1 vol. in-4°.

Chemins de fer de l'Europe. Recettes comparatives des années 1862 et 1861. Paris, Imprimerie impériale, 1862, 1 vol. in-4°.

Conditions techniques d'établissement. Paris, Imprimerie impériale, 1865, 1 vol. in-f°.

Documents financiers. Paris, Imprimerie impériale, 1868, 1 vol. in-f°.

Situation des chemins de fer français au 31 décembre des années 1875, 1876, 1877 et 1878. Paris, Imprimerie nationale, 1875 à 1878, 4 vol. in-4°.

XXXVI

DIRECTION DES CARTES ET PLANS

ET DE LA STATISTIQUE GRAPHIQUE.

Cartes et documents statistiques.

I. CARTE NATIONALE AU 200 000e; ATLAS STATISTIQUE DES COURS D'EAU, DES USINES ET DES IRRIGATIONS.

II. VOIES DE COMMUNICATION DE LA FRANCE.

III. ALBUM DE STATISTIQUE GRAPHIQUE DE 1879 À 1880.

IV. ATLAS DES CANAUX DE LA FRANCE.

V. BULLETIN DU MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS; STATISTIQUE ET LÉGISLATION COMPARÉE.

VI. NIVELLEMENT GÉNÉRAL DE LA FRANCE.

I

CARTE NATIONALE AU 200 000^{c}; ATLAS STATISTIQUE DES COUS D'EAU, DES USINES ET DES IRRIGATIONS.

A. **Carte nationale au** $\frac{1}{200\,000}$. — Conformément aux dispositions fixées par l'arrêté ministériel du 23 février 1879, la carte de France au $\frac{1}{200\,000}$ publiée par le Ministère des travaux publics, est gravée sur cuivre, à trois couleurs. Elle comprend 141 feuillets, dont le format est de $0^{m},426$ sur $0^{m},30$ et dont chacune représente exactement, eu égard aux différences d'échelles, une étendue de terrain égale à deux feuilles de la carte d'État-major au $\frac{1}{80\,000}$.

Comme celles de cette carte, les feuilles de la carte au

$\frac{1}{200\,000}$ sont délimitées par des lignes droites rectangulaires entre elles, dont un système est parallèle et l'autre perpendiculaire au méridien de Paris.

Dressée spécialement au point de vue des travaux publics, la nouvelle carte distingue avec soin les voies de communication de tous ordres, et les circonstances physiques, agricoles, industrielles ou administratives qui peuvent influer ou sur le tracé de ces voies, ou sur les courants de transport. C'est ainsi qu'elle indique les exploitations minéralogiques, les populations de villages ayant plus de 1 000 habitants d'après le recensement de 1876, les usines hydrauliques, les bois d'une contenance moyennement supérieure à 50 hectares, les courbes de niveau à l'équidistance de 100 mètres, et les altitudes de certains points remarquables au-dessus du niveau de la mer à Marseille.

Cette carte a d'ailleurs mis à profit les travaux de revision les plus récents faits par les ingénieurs des Ponts et Chaussées, par les officiers d'État-Major et du Génie et par les agents voyers, ainsi que les atlas cantonaux à grande échelle qui, dans ces dernières années, ont été entrepris par un certain nombre de départements.

B. **Atlas statistique des cours d'eau, des usines et des irrigations** (cartes et tableaux). — En outre de cette première édition par feuilles de petit format, qui constitue à proprement parler une carte de fond, l'Administration a également décidé la publication d'une autre édition en grandes feuilles, dont chacune, obtenue à l'aide d'un assemblage par voie de report sur pierre, comprend un département tout entier, et dont la collection consti-

tuera l'Atlas statistique des cours d'eau, des usines et des irrigations.

Circulaires de 1861 à 1863 sur l'inventaire des cours d'eau. — A la suite du décret du 8 mai 1861, qui plaçait exclusivement dans les attributions du Ministre des travaux publics la police, le curage et l'amélioration des cours d'eau non navigables ni flottables, l'Administration reconnut la nécessité de dresser une sorte d'inventaire des richesses hydrauliques qui lui étaient désormais confiées.

Une circulaire ministérielle, adressée aux ingénieurs le 30 juillet 1861, leur demanda de remplir deux tableaux désignés par les lettres A et B. « Le premier (disait-elle) est un cadre où viendront se placer les renseignements propres à constater le régime des cours d'eau non navigables ni flottables (longueur, largeur, débit). Sauf un petit nombre d'éléments, qui peuvent subir quelques changements à mesure que le lit des cours d'eau sera régularisé ou amélioré, ce tableau doit prendre bientôt une forme presque immuable, comme les faits dont il est l'expression abrégée. Le second au contraire (consacré aux usines et aux irrigations), se modifiant pour chaque vallée avec les progrès de l'industrie, permettra d'en suivre pas à pas les développements. »

D'autres circulaires, des 27 mars 1862 et 23 juin 1863, précisèrent les instructions de celle de 1861, et demandèrent que ce premier travail fût complété par une carte sur laquelle on consignerait les principales indications des tableaux A et B.

Pour coordonner ces documents et en centraliser la pu-

blication, l'Administration institua, par décision du 22 janvier 1869, sous la présidence de M. l'inspecteur général Perrier, une commission spéciale qu'une décision du 23 juin 1879 a rattachée à la Direction des cartes et plans, et qui continue à exercer une haute surveillance sur l'exécution de l'entreprise.

Dans une circulaire adressée au commencement de 1870 aux ingénieurs du service hydraulique et des services spéciaux de navigation, la Commission faisait appel à leur concours en faveur d'une publication « qui devait être (disait-elle) l'œuvre du corps des Ponts et Chaussées tout entier », et leur demandait, sous forme de cartes et d'états statistiques, des renseignements détaillés sur les arrosages.

Un moment interrompus par les événements de 1870 et 1871, les travaux de la commission ont été depuis lors repris et poussés avec l'activité que comportaient la prépation et la gravure des planches, l'impression des tableaux et surtout la revision attentive et réitérée de tous les documents avant de les admettre comme définitifs.

1° **Atlas au $\frac{1}{200\,000}$.** — Les cartes départementales sont, ainsi qu'il a été dit plus haut, obtenues à l'aide du report par l'assemblage des feuilles de la carte de fond au $\frac{1}{200\,000}$. Elles sont complétées par le détail du réseau hydrographique et par l'inscription du numéro d'ordre de chaque cours d'eau, d'après le classement méthodique dont la circulaire de 1861 a fixé les bases. En outre, on y indique les usines hydrauliques, les prises d'eau, les canaux d'irrigation et les surfaces arrosées. Des signes conventionnels répondent aux principales cultures.

Les épreuves, après avoir subi la revision la plus minutieuse, sont communiquées aux ingénieurs des départements. Ce n'est qu'après que la seconde épreuve a subi ce double contrôle que l'on passe au tirage définitif.

2° **Tableaux statistiques.** — L'atlas est accompagné de tableaux statistiques, dressés aussi par département. Les cours d'eau s'y succèdent dans l'ordre adopté pour le classement du système hydrographique et y portent les mêmes numéros que sur la carte correspondante.

Pour en faciliter l'intelligence et l'usage, on les a fait précéder d'une notice sommaire qui explique leur système de rédaction, et suivre d'un index alphabétique qui définit par ses coordonnées la position géographique du confluent de chaque cours d'eau.

Pour les épreuves des tableaux, on procède comme pour celles des cartes, la Commission tenant à laisser le mérite et la responsabilité de l'œuvre aux ingénieurs locaux.

3° **Notices sur les irrigations.** — A l'atlas et aux tableaux doivent être jointes des notices avec planches, consacrées aux meilleurs types d'arrosage adoptés dans chaque localité. La Commission a déjà reçu de très utiles documents à ce sujet et se dispose à les publier.

Introduction générale. — Enfin, la Commission résumera, dans une introduction générale, les résultats consignés dans l'atlas et les tableaux; elle comparera les méthodes d'irrigation suivies dans les diverses contrées et signalera les mesures techniques et réglementaires qui lui sembleront favorables à une meilleure utilisation des eaux.

Personnel. — La gravure des planches a été, à l'origine, confiée à M. Dulos; depuis sa mort, c'est-à-dire depuis 1874, elle est continuée par les soins de son successeur, M. Hellé.

La préparation et la revision des cartes ont lieu par les soins de M. le conducteur Bardoux et de plusieurs conducteurs et dessinateurs qu'il dirige.

Les tableaux statistiques sont en voie d'impression à l'Imprimerie nationale.

Comme spécimen de la publication, la Commission expose les cartes et les tableaux des départements de la Haute-Garonne, de l'Ariège et de la Nièvre. Les autres départements se succéderont sans interruption.

Importance du tirage. — Le tirage sera assez important pour satisfaire aux besoins des services départementaux, et en outre pour être mis en vente, à la disposition du public, dans des conditions modérées. L'Administration étant propriétaire des planches en cuivre pourra tenir ses cartes au courant et apporter à chaque nouveau tirage les améliorations et les additions dont elle aura reconnu la nécessité.

L'Atlas départemental est d'une exécution très soignée, et répond à un besoin réel. Complété par les tableaux statistiques, il constituera, suivant la pensée qui lui a donné naissance, un véritable inventaire de nos ressources hydrauliques, et permettra de mieux en étudier la mise en valeur. L'opinion publique, jusqu'ici indifférente à ces questions, commence à en comprendre l'importance, et les améliorations concernant l'aménagement des eaux ont été inscrites par le Gouvernement dans le programme des grands tra-

vaux publics. La publication de l'Atlas statistique des cours d'eau, des usines et des irrigations arrive donc à son heure, et secondera un mouvement qui ne peut manquer d'être fécond pour le développement de la richesse publique dans notre pays.

II

CARTES DES VOIES DE COMMUNICATION.

Ce groupe comprend les cartes ci-après, savoir :

A. **Carte des principales voies de communication de la France au $\frac{1}{500\,000}$**, en 6 feuilles grand-monde. — Cette carte comprend les routes nationales et départementales, les chemins de fer exécutés, les routes forestières et agricoles, et le réseau hydrographique.

B. **Carte des principales voies de communication au $\frac{1}{1\,250\,000}$**, en 2 feuilles. — Cette carte est la réduction de la carte précédente en 6 feuilles; mais elle porte en outre l'indication des bassins hydrographiques et le figuré du relief des principales montagnes.

C. **Carte des chemins de fer français au $\frac{1}{125\,000}$**, en huit couleurs. — Cette carte distingue par des couleurs différentes les réseaux, tant en exploitation qu'en construction, appartenant aux grandes compagnies et aux compagnies secondaires, les lignes classées ou décrétées, les chemins de fer étrangers. Le réseau d'intérêt local est tracé en noir. Toutes les stations sont indiquées.

D. **Carte de la navigation intérieure au $\frac{1}{125\,000}$**, en huit couleurs. — Sur cette carte, on a indiqué le réseau hydrographique, les bassins, les montagnes, les canaux existants et déclarés d'utilité publique, les lignes de faîte des principaux bassins, la portion navigable et la portion flottable des rivières; des teintes spéciales désignent les voies navigables administrées par l'État ou concédées à des compagnies, les rivières canalisées, la navigation fluviale et la navigation maritime à l'embouchure des fleuves.

Parmi les innovations que présente cette édition nouvelle, on peut signaler l'indication de la portée lumineuse des phares qui protègent nos côtes et le tracé des principaux canaux d'irrigation.

Comme pour la carte précédente, une teinte, qui recouvre tous les pays étrangers, enlève en clair la surface de la France.

E. **Carte des routes nationales au $\frac{1}{1\,390\,000}$**, en quatre couleurs. — Sauf les deux premières, ces diverses cartes sont exécutées en chromolithographie chez M. Régnier, imprimeur. L'emploi de ce procédé, qui vient d'être aussi adopté pour la carte géologique, était devenu nécessaire pour répondre aux besoins des grands corps de l'État et à ceux des nombreuses commissions instituées dans ces derniers temps. De plus, il réduit assez le prix de revient pour que ces cartes puissent être mises en vente chez les libraires à un prix modéré. Le public est ainsi admis à bénéficier de ces documents, qu'il ne pouvait pas se procurer autrefois.

Les cuivres et les pierres des cartes appartiennent à l'Administration, qui les tient constamment à jour, par l'addi-

tion de toutes les lignes classées, déclarées d'utilité publique et livrées à la circulation.

III

ALBUMS DE STATISTIQUE GRAPHIQUE POUR 1879 ET 1880.

Avantages de la statistique graphique. — Quoique née d'hier, la statistique graphique étend chaque jour son domaine et le cercle de ses applications. Il n'est presque pas aujourd'hui de branche de l'activité humaine qui ne recoure à ses services. Elle répond, en effet, de la manière la plus heureuse à un double besoin de notre époque, qui veut à la fois des renseignements rapides et précis. Or les procédés graphiques remplissent à merveille ces deux conditions. Ils nous permettent non seulement d'embrasser d'un seul coup d'œil la série des phénomènes, mais encore d'en signaler les rapports ou les anomalies, d'en trouver les causes, d'en dégager la loi. Ils remplacent avantageusement les longs tableaux de chiffres, de sorte que, sans nuire à la précision de la statistique, ils en étendent et en vulgarisent les bienfaits.

Le corps des Ponts et Chaussées de France peut à bon droit revendiquer une part importante dans l'emploi et la vulgarisation de ces procédés. M. Minard a été l'un des premiers à les appliquer, et il en a montré, par ses beaux travaux, la fécondité et la souplesse. M. l'inspecteur général Lalanne, membre de l'Institut, en a, de son côté, élevé la portée scientifique et a fait faire de remarquables progrès au calcul par le trait.

Cette méthode n'a pas seulement l'avantage de parler

aux sens en même temps qu'à l'esprit et de peindre aux yeux des faits et des lois qu'il serait difficile de découvrir dans de longs tableaux numériques. Elle a, de plus, le privilège d'échapper aux obstacles qui restreignent la facile diffusion des travaux scientifiques et qui tiennent à la diversité offerte par les différentes nations, sous le rapport de leurs idiomes et de leurs systèmes de poids et mesures; ces obstacles sont inconnus au dessin. Un diagramme n'est pas allemand, anglais ou italien; tout le monde saisit immédiatement ses rapports de mesure, de surface ou de coloration. La statistique graphique est ainsi une sorte de langue universelle qui permet aux savants de tous les pays d'échanger librement leurs idées et leurs travaux au grand profit de la science elle-même.

Aussi le Ministre des travaux publics, comprenant toute l'importance de ce mode de représentation graphique, a-t-il, par un arrêté du 12 mars 1878, annexé un service de statistique graphique à la Direction des cartes et plans.

Aux termes de cet arrêté, le nouveau service est chargé de préparer des cartes figuratives et des diagrammes exprimant, sous la forme graphique, les documents statistiques relatifs soit au courant de circulation des voyageurs et des marchandises sur les voies de communication de tous ordres et dans les ports de mer, soit à la construction et à l'exploitation de ces voies; en un mot, à tous les faits économiques, techniques ou financiers qui relèvent de la statistique et peuvent intéresser l'Administration des travaux publics. Il a été décidé en outre que des cartes et diagrammes seraient réunis en un album annuel, de format portatif, destiné à être distribué aux Chambres dans le courant de la session.

L'album de 1879 a été la première application de cette mesure. Il comprend douze planches, dont la liste est ci-dessous :

1. Tonnage des rivières, canaux et ports (1877).
2. Tonnage des routes nationales, dernier comptage (1876).
3. Tonnage des chemins de fer (1877).
4. Recettes des chemins de fer (1877).
5. Histoire financière de la Compagnie du Nord (1845-1879).
6. Histoire financière de la Compagnie de l'Est (1845-1879).
7. Histoire financière de la Compagnie de l'Ouest (1843-1879).
8. Histoire financière de la Compagnie d'Orléans (1843-1879).
9. Histoire financière de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée (1845-1879).
10. Histoire financière de la Compagnie du Midi (1845-1879).
11. Mouvement des ports de commerce (1868-1877).
12. Commerce général et commerce spécial de la France (1828-1878).

L'album de 1880, qui vient de paraître, constitue un progrès par rapport à celui de 1879, tant sous le rapport du nombre et de l'intérêt des planches que sous celui de leur qualité d'exécution.

Pour montrer la diversité des sujets que contient cet album, il suffira de citer la table des matières :

I. CARTES DE FONDATION.

1. Tonnage des rivières, canaux et ports en 1878.
2. Tonnage des routes nationales en 1878.
3. Tonnage des chemins de fer en 1878.
4. Recettes brutes des chemins de fer en 1878.
5. Bénéfices nets des chemins de fer en 1878.
6. Recettes brutes des stations en 1878.
7. Conditions de navigabilité des voies navigables en 1878.
8. Recettes des omnibus de Paris en 1878.

9. Recettes des tramways de Paris, des bateaux omnibus et des chemins de fer de Ceinture en 1878.
10. Recettes des tramways de la banlieue de Paris en 1878.

II. CARTES SPÉCIALES.

11. Conditions techniques d'établissement des chemins de fer.
12. Frais de premier établissement des chemins de fer.
13. Frais de premier établissement des voies navigables de la France et des ports.
14. Données relatives à l'entretien des routes nationales en 1878.
15. Développement des voies de communication de tous ordres, par département.
16. Développement des chemins de fer dans les principaux États, de 1830 à 1878.

Il paraît inutile d'entamer la description détaillée de ces planches, dont le compte rendu est impuissant à suppléer l'examen et à rendre l'effet. Si cette publication, dont les bases sont aujourd'hui définitivement arrêtées, est continuée avec persévérance dans le même esprit, il n'est pas douteux qu'elle ne soit appelée à rendre de grands services à l'économiste, à l'homme d'État, à tous ceux enfin que préoccupe le grave et difficile problème des rapports entre le développement de la richesse nationale et celui des travaux publics.

IV

ATLAS DES CANAUX DE LA FRANCE.

Circulaire du 29 novembre 1854. — L'Administration ayant reconnu l'utilité de réunir en une collection complète à la même échelle les dessins des canaux livrés à la circulation, une circulaire ministérielle, en date du

29 novembre 1854, invita les ingénieurs en chef des services de la navigation à s'occuper sans retard de ce travail, et leur en traça le programme sur les bases suivantes :

Chaque canal devait être représenté par un plan à l'échelle de $\frac{1}{200\,000}$ et un profil en long, dressé à la même échelle pour les longueurs, et à celle de $\frac{1}{1\,000}$ pour les hauteurs;

Ce plan et ce profil devaient se correspondre sur la même feuille et être complétés, sur cette feuille ou sur des feuilles annexes en nombre suffisant, par des profils en travers et des dessins d'ouvrages d'art à l'échelle du $\frac{1}{200}$;

Le format adopté était celui de $0^m,60$ sur $0^m,90$;

L'ingénieur en chef directeur du Dépôt des cartes et plans était chargé de l'exécution de l'atlas.

Commission de 1859. — Plus tard, le 5 mai 1859, pour perfectionner le travail et l'entourer de nouvelles garanties, une haute commission d'inspecteurs généraux fut constituée sous la présidence de M. l'inspecteur général Mary.

En annonçant cette mesure aux ingénieurs en chef, la circulaire ministérielle du 21 décembre 1859 insistait sur l'importance que l'Administration attachait à l'atlas en voie de préparation : « Non seulement il devait comprendre les ouvrages types de chaque canal, mais tous ceux qui méritaient d'être connus pour leur spécialité, pour les difficultés vaincues, ou pour leur possibilité d'application à d'autres localités.

« Douze planches ont déjà été publiées et distribuées (continuait la circulaire). On peut reconnaître, aux soins

apportés à leur composition et à leur exécution, même aux progrès successifs qui s'y révèlent, que l'Administration entend faire de cette collection une œuvre vraiment belle, utile et pouvant présenter un sérieux intérêt, au double point de vue historique et technique. »

La Commission de l'atlas des canaux fonctionna pendant près de deux ans; mais, après la mise à la retraite de son président, le 11 janvier 1861, elle cessa de se réunir. Depuis lors, le travail d'examen des dessins et de la composition des planches s'est poursuivi sous l'inspiration des mêmes principes, mais par les soins exclusifs des directeurs successifs du Dépôt des cartes et plans.

Détails d'exécution. — Les planches qui composent la collection sont au nombre de 89. Elles ont été gravées sur pierre avec soin, par la maison Régnier, et tirées à 300 exemplaires, après quoi la pierre a été effacée.

Par suite d'une distribution plus abondante réclamée par les besoins du service, quelques planches ont été prématurément épuisées, et l'on a dû recourir à la photogravure sur zinc pour compléter les collections dépareillées.

Cette opération a été confiée à M. Gillot, graveur, qui s'en est acquitté avec succès.

Les dispositions prescrites par la circulaire du 29 novembre 1854 ont été respectées, sauf de légères variantes, et ont imprimé une grande unité à la collection. On remarque seulement, en consultant les dates, que les premières planches ont beaucoup d'air et sont assez peu garnies.

Au contraire, au fur et à mesure de l'avancement de la publication, on s'est de plus en plus attaché à condenser les

figures et à bien remplir les cadres; on a rendu ainsi les planches plus intéressantes et moins nombreuses.

En même temps, et par une conséquence naturelle, leur prix moyen (y compris la gravure, le papier et le tirage à 300 exemplaires) s'élevait et passait de 500 à 700 francs.

Dépense. — La dépense totale à ce jour est d'environ 60 000 francs, ce qui représente une moyenne de 200 francs pour une collection complète, 674 francs pour une planche et $2^{f},25$ pour chaque feuille de l'atlas. Placé en regard du résultat, le sacrifice paraîtra modéré.

Tables des matières. — En tête de l'atlas ont été placées, pour faciliter les recherches, deux tables des matières : l'une qui est disposée par série de canaux formant un groupe distinct, un ensemble; et l'autre qui donne tous les noms des voies navigables classées par ordre alphabétique.

Documents annexes. — A la suite des planches composant à vrai dire l'atlas, on a annexé comme documents généraux une carte générale de la navigation intérieure et deux cartes figuratives représentant le tonnage sur les voies navigables et leurs conditions de navigabilité. Quoique ces planches et surtout les deux dernières ne présentent pas, eu égard à leur destination spéciale, le même fini d'exécution que celles de l'atlas, elles ont paru pourtant de nature à l'accompagner utilement et à en compléter les indications.

Situation actuelle et avenir du travail. — Au

point où elle en est arrivée aujourd'hui, la collection comprend toutes les voies navigables actuellement terminées, sauf les canaux de la Rochelle à Marans, de la Sauldre, de Coutances et de Saint-Louis.

Ces canaux, dont les planches sont en voie de préparation, feront l'objet d'une seconde partie, ainsi que le canal de la Haute-Marne et celui de l'Est, sans compter les autres canaux dont le programme vient d'être tracé par l'Administration et dont les projets seront bientôt soumis aux pouvoirs publics.

L'atlas des canaux, qui est comme l'inventaire de notre réseau de navigation, doit suivre les développements successifs des voies navigables et ne pourra se clore que le jour sans doute encore éloigné où elles auront reçu leur complément définitif. Jusqu'à ce moment, la collection restera ouverte; les études et les travaux entrepris actuellement par les ingénieurs semblent lui promettre d'abondants matériaux, et la période qui commence est sans doute destinée à l'enrichir de précieuses additions.

V

BULLETIN DU MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS.

Une décision ministérielle du 14 janvier 1880 porte qu'il sera publié, par les soins de la Direction des cartes, plans et archives, et de la statistique graphique (3e bureau), un bulletin mensuel du Ministère des travaux publics, analogue à celui du Ministère des finances.

Ce bulletin n'est pas un organe de discussion ou de technologie, mais un recueil d'informations statistiques et lé-

gislatives. Comme l'album de statistique graphique, dont il est question plus haut (3°), il est spécialement destiné au Parlement, et fournit tous les mois, sous un petit format, les documents et les chiffres les plus récents qui se trouvent disséminés dans un grand nombre de publications françaises et étrangères, et qui, eu égard à leurs conditions actuelles de périodicité, ne peuvent quelquefois paraître qu'avec d'assez longs retards.

Malgré le soin de n'admettre dans ce bulletin que des données authentiques, il se peut qu'à raison même de cette publicité plus rapide qui est un besoin de l'époque, quelques chiffres n'aient qu'un caractère provisoire et soient susceptibles de revision. On devra donc continuer à chercher les chiffres définitifs dans ces publications importantes qui sont déjà en possession d'une légitime autorité et qui ne sauraient être suppléés par un bulletin.

Un article spécial est mensuellement consacré aux tarifs homologués des chemins de fer, et par le surcroît de publicité ainsi assuré à ces tarifs, il donne satisfaction à un vœu depuis longtemps exprimé au nom du commerce.

Quant à l'étranger, ce bulletin publie de préférence les documents qui ont trait aux principales questions actuellement posées en matière de travaux publics.

A la suite de chacune des deux grandes divisions du bulletin, France et Étranger, trouvent place, sous le titre de *Renseignements divers*, quelques informations qui, sans avoir un caractère officiel, peuvent cependant présenter un intérêt statistique ou législatif.

De temps à autre, des diagrammes intercalés dans le texte viennent « illustrer » certains tableaux de chiffres et

leur prêter ce secours de la traduction graphique dont on a expliqué ci-dessus la diffusion et les services.

Le bulletin paraît dans la première quinzaine de chaque mois, de manière à pouvoir contenir le tableau complet de certaines catégories de faits correspondant au mois précédent (ouverture de lignes, homologation de tarifs, déclaration d'utilité publique, etc.)

Chaque numéro comprend de quatre à cinq feuilles.

La publication forme deux volumes par an; chacun d'eux a sa pagination, sa table des matières et son index alphabétique.

VI

NIVELLEMENT DE LA FRANCE.

Nivellement Bourdaloue. — Le nivellement Bourdaloue, exécuté il y a une vingtaine d'années, s'étend à un réseau de 14 980 kilomètres de développement. Les résultats en sont consignés dans un recueil en trois colonnes, qui définit l'emplacement de chaque repère.

Nivellement général de la France. — Cette opération, qui a rendu de grands services, ne pouvait, à cause de la portée restreinte de son réseau, suffire à tous les besoins qui exigent la connaissance du relief de notre territoire. Le moment est venu de procéder à une entreprise d'ensemble qui couvre ce territoire d'un réseau à mailles étroites.

Commission centrale. — Aussi, par arrêtés en date

des 5 octobre et 20 décembre 1878, rendus après concert avec les Ministres de l'intérieur et de la guerre, le Ministre des travaux publics a-t-il institué, sous sa présidence, une commission centrale, composée des délégués des trois Ministères et chargée d'arrêter les bases du nivellement général de la France.

Commissions locales. — Cette commission ayant reconnu dès le début la nécessité de s'assurer dans les départements des concours propres à faciliter son œuvre, une circulaire du 25 novembre 1878 a invité les préfets à former des commissions présidées par eux et comprenant, outre les chefs de service des différentes administrations, deux membres du conseil général et d'autres personnes désignées par leur compétence et leur situation.

Inventaire du nivellement. — Aussitôt constituées, les commissions locales ont été mises à l'œuvre pour dresser l'inventaire du nivellement, c'est-à-dire l'état des nivellements déjà effectués et celui des ressources que pourraient offrir les départements au double point de vue du matériel des instruments et du personnel des opérateurs.

Enquête à l'étranger. — Ainsi éclairée sur l'état de la question en France, la Commission centrale a voulu l'être de même pour l'étranger, et son enquête a établi que l'opération du nivellement était effectuée, en Angleterre, sur les deux tiers du territoire; dans l'Allemagne du Nord, sur les deux cinquièmes, et qu'elle était presque terminée en Belgique et en Suisse, etc.

Programme du nivellement général. — Après ces études préliminaires, la Commission a rédigé le programme du nivellement général de la France, en s'inspirant à la fois des besoins du présent et de l'avenir, et en mettant à profit les perfectionnements les plus récents réalisés dans ces sortes d'entreprises.

Ce programme comprend, en premier lieu, un nivellement de grande précision qui doit s'étendre aux voies de communication de tous ordres et aux principaux cours d'eau. En second lieu, il prévoit des nivellements intercalaires, qui, recoupant l'intérieur des mailles du premier réseau, permettront de tracer les courbes du niveau du terrain et achèveront ainsi d'en définir le relief.

Indépendamment du catalogue, qui présentera sous forme de tableaux les résultats des opérations, il sera dressé, à l'aide des plans du cadastre, un répertoire graphique, sorte de carte sommaire à l'échelle de $\frac{1}{10\,000}$, où chaque repère sera indiqué à sa place et où seront figurées les courbes de niveau. Ces données pourront être ensuite utilisées pour le complément des cartes existantes ou en voie de publication, ainsi que pour la confection de celles qu'il plairait à l'État ou aux particuliers d'entreprendre dans l'avenir.

Dans ce programme, le nivellement de grande précision s'applique à une longueur approximative de 840 000 kilomètres, qui se décompose ainsi :

Routes nationales	37 330
Routes départementales	42 240
Chemins vicinaux de grande communication	95 570
Chemins d'intérêt commun	75 200
A reporter	250 340

Report	250 340
Chemins ordinaires	390 410
Canaux	4 750
Chemins de fer d'intérêt général (y compris le réseau complémentaire)	40 000
Chemins de fer d'intérêt local	4 500
Rivières navigables et flottables	16 000
Cours d'eau dont le bassin a une superficie supérieure à 2 000 hectares	134 000
TOTAL	840 000

Sur ce total, le nivellement Bourdaloue déjà exécuté mesure, comme on l'a vu plus haut, une longueur de 15 000 kilomètres, et sera complété par un nivellement de lignes de base de 25 000 kilomètres, auquel on doit donner le degré d'exactitude le plus élevé qu'on puisse atteindre pour ces opérations fondamentales.

Sur ces données, la Commission centrale estime qu'en utilisant pour ce travail les opérations déjà effectuées et le concours des agents des services publics, on pourra accomplir l'œuvre en dix années au plus et moyennant une dépense totale de 19 millions.

Concours des départements. — Les départements dont on nivelle les routes et les chemins, et pour lesquels on facilite les entreprises communales ou privées d'irrigation ou d'assainissement, ne pouvaient être tenus en dehors de l'opération. Aussi deux circulaires, l'une du Ministre des travaux publics (11 juillet 1879), l'autre du Ministre de l'intérieur (12 juillet 1877), ont-elles invité les préfets à

saisir les conseils généraux, dans la session d'août, d'une demande de concours destiné à modérer les charges de l'État et à associer les départements à une œuvre dont ils doivent recueillir en partie les avantages.

Le montant de ce concours financier a été fixé à 3 500 000 francs (c'est-à-dire un peu moins du cinquième de la dépense totale), à répartir proportionnellement à la valeur du centime départemental. Mais la charge pourra en être très sensiblement atténuée par l'intervention de la caisse des chemins vicinaux, qui donnerait aux départements des facilités spéciales, tant pour la durée de leur libération que pour le taux de l'emprunt.

Les conseils généraux ont accueilli avec sympathie cet appel en faveur d'une entreprise dont ils ont reconnu toute l'importance pour les intérêts publics et locaux. Dès la session d'août, trente-quatre d'entre eux ont voté plus de 1 200 000 francs pour les subsides qui leur étaient demandés, et beaucoup n'attendent, pour suivre cet exemple, que des explications complémentaires et l'autorisation d'imputer les dépenses sur les ressources de la caisse des chemins vicinaux.

Demande de crédit au budget de 1881. — Aussi, le Gouvernement n'a-t-il pas hésité à demander au Parlement de sanctionner par le vote d'un crédit l'utilité d'une œuvre essentiellement nationale, et de l'encourager ainsi à regagner le temps que la France a perdu, tandis que les pays voisins persistaient dans une entreprise où plusieurs n'avaient fait que la suivre.

C'est dans ce but qu'un crédit de 500 000 francs a été

inscrit au projet de budget de 1881 (3e section, chapitre xx).

Avant-projet du réseau des lignes de base. — De son côté, la délégation de la commission centrale a continué ses travaux sous la présidence de M. l'inspecteur général Marx, et elle a étudié l'avant-projet d'un réseau d'environ 25 000 kilomètres de lignes de base, qui se répartit comme il suit entre les diverses voies de communication :

NATURE DES OPÉRATIONS.	CHEMINS de FER.	CANAUX et RIVIÈRES.	ROUTES NATIONALES.	ROUTES DÉPARTEMENTALES.	CHEMINS DIVERS.	TOTAUX.
Opérations primordiales..	11 820	275	1 365	385	12	13 857
Opérations intermédiaires.	3 075	//	4 649	2 893	152	10 769
Totaux.....	14 895	275	6 014	3 278	164	24 626

Ce premier travail ne constituant qu'une sorte d'avant-projet susceptible d'amélioration après une revision faite sur place, une circulaire du 25 mars 1880 a invité les commissions locales à procéder à cet examen, qui permettra de serrer la question de plus près et d'arrêter définitivement le réseau des lignes de base.

Documents exposés. — Pour donner une idée de cette grande opération qui promet d'être féconde en résultats, le Directeur des cartes et plans expose le compte rendu de la première session de la Commission centrale du nivellement de la France et la carte au $\frac{1}{2\,000\,000}$ qui indique à la fois le réseau de nivellement Bourdaloue, celui des

lignes fondamentales projetées et le canevas de la triangulation géodésique de premier ordre.

Personnel de la Direction des cartes et plans. — La Direction des cartes et plans est actuellement composée comme il suit :

Directeur, M. Cheysson, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées;

Chef de division : M. Charle;

Chefs de bureau : MM. Hugo et Morel.

Parmi les dessinateurs qui ont donné le concours le plus utile à la confection des cartes exposées, il convient de citer MM. Monsel, Guillot, Courjon.

XXXVII

ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

COURS IMPRIMÉS ET LITHOGRAPHIES,

ET COLLECTION DE DOCUMENTS.

L'École des Ponts et Chaussées est appelée à former les ingénieurs destinés au service de l'État et composant le corps national des Ponts et Chaussées[1].

Élèves ingénieurs. — Les élèves ingénieurs sont pris exclusivement parmi les élèves sortant de l'École polytechnique[2].

L'enseignement comprend : la construction des routes, des ponts, des chemins de fer, des canaux, des ports maritimes; l'amélioration des rivières; l'architecture civile; la mécanique appliquée (résistance des matériaux et hydraulique); les machines à vapeur; l'hydraulique agricole; les connaissances géologiques et minéralogiques nécessaires aux ingénieurs; le droit administratif; l'économie politique et la fortification[3].

[1] Voir, au nombre des documents exposés, la *Notice sur l'École des Ponts et Chaussées.*

[2] Décret organique du 13 octobre 1851, articles 1 et 3.

[3] Ce dernier cours est spécial aux élèves ingénieurs de l'État, appelés par la loi militaire à faire partie, comme officiers, de la réserve et de l'armée territoriale.

A ces cours normaux s'ajoutent un certain nombre de conférences, qui portent sur les connaissances suivantes : Exploitation des chemins de fer; télégraphie électrique; photographie; pisciculture; service vicinal; assainissement des villes; etc.

Les travaux intérieurs de l'École ont pour but d'exercer les élèves sur les objets suivants :

1° Travaux graphiques, dessin, lavis, rédaction de mémoires et concours sur des projets de travaux d'art et de construction;

2° Manipulations et essais de matériaux de construction;

3° Nivellement et lever de plans; lever de machines et de bâtiments;

4° Visite d'ateliers.

L'enseignement dure trois années.

Les cours commencent dans les premiers jours de novembre.

Vers la fin du mois de mai, les élèves sont envoyés en mission dans les départements pour s'exercer, sous la direction des chefs de service, à la pratique de l'art de l'ingénieur. La mission dure jusqu'au mois d'octobre [1].

Élèves externes. — Indépendamment des élèves ingénieurs de l'État, l'École des Ponts et Chaussés reçoit des élèves externes, soit français, soit étrangers, admis, après examen, à suivre les cours et à participer aux travaux intérieurs de l'Ecole [2].

[1] Décret organique du 13 octobre 1851, article 32.

[2] Voir, au nombre des documents exposés, les conditions pour l'admission des élèves externes et les conditions pour l'admission aux cours préparatoires.

Auditeurs libres. — Outre les élèves externes, des auditeurs libres peuvent être admis, sur l'autorisation du directeur de l'École, à suivre les cours.

Élèves des cours préparatoires. — Enfin, et pour faciliter aux candidats français ou étrangers les épreuves de l'examen préalable, on a institué dans l'École même des cours préparatoires destinés aux jeunes gens qui voudraient être admis en qualité d'élèves externes [1].

L'enseignement des cours préparatoires dure une année; il comprend :

1° Le calcul différentiel, le calcul intégral et la mécanique;

2° La physique et la chimie;

3° La géométrie descriptive, la stéréotomie et les éléments d'architecture;

4° Le dessin linéaire, le dessin d'imitation et le lavis.

Les épreuves d'un examen préalable sont obligatoires pour tous les candidats qui désirent être admis soit aux concours préparatoires, soit directement à titre d'élèves externes, lors même que ces candidats sont pourvus de diplômes ou de brevets de capacité.

Il n'est fait d'exception, à titre de dispense d'examen, qu'en faveur des élèves de l'École polytechnique ayant satisfait à toutes les conditions des examens de sortie.

L'enseignement est entièrement gratuit pour les élèves externes et pour les élèves des cours préparatoires.

[1] Voir, au nombre des documents exposés, les conditions pour l'admission des élèves externes et les conditions pour l'admission aux cours préparatoires.

Services annexes rattachés à l'École. — A côté d'une mission d'enseignement, qui est sa première destination, l'École des Ponts et Chaussées a encore pour attributions de venir en aide aux ingénieurs, et même au public, dans toutes les questions qui touchent à sa compétence scientifique. De là un certain nombre de services annexes qu'il paraît utile de passer succinctement en revue.

Bibliothèque. — L'École possède l'une des plus riches collections d'ouvrages se rapportant à la science de l'ingénieur; sa bibliothèque ne compte pas moins de 40 000 volumes. Un catalogue imprimé et un double répertoire manuscrit dressé par les soins du bibliothécaire, M. Schwebelé, rendent les recherches aussi promptes que faciles.

Les ingénieurs sont admis, en tout temps et à toute heure, à consulter les ouvrages et les manuscrits qui les intéressent. Pour les ingénieurs qui résident hors de Paris, on autorise même, sous certaines conditions, le déplacement et le prêt des livres dont ils font la demande.

Galeries des modèles. — Les galeries de l'École renferment, dès à présent, plus de douze cents modèles ou dessins, répartis en onze catégories, qui répondent aux divers cours de construction. Beaucoup de ces modèles, par la finesse et par la perfection de leur exécution, sont d'un grand prix et d'un haut intérêt.

Un catalogue général donne, dans une notice spéciale, la description sommaire de chaque modèle; s'il s'agit de la reproduction d'un ouvrage d'art, il en fait connaître les principales dimensions, la date, la dépense et les noms des ingénieurs et des constructeurs qui ont coopéré au travail.

La rédaction de ce catalogue est due à M. l'ingénieur en chef Baron.

Bureau des dessins et atelier de photographie. — Le bureau des dessinateurs, dont l'origine est contemporaine de la création même de l'École, a pour premier objet la confection de tous les dessins nécessaires soit aux démonstrations à l'amphithéâtre, soit à la publication des cours lithographiés.

Avec l'aide de l'atelier de photographie, son nouvel et puissant auxiliaire, ce bureau s'occupe simultanément de préparer la publication périodique connue sous le nom de « Portefeuille ou Collection de dessins distribués aux élèves », et d'exécuter la collection de l'Atlas des ports de France, dont les quatre premiers volumes figurent dans l'exposition du Ministère des travaux publics.

Enfin, le même bureau répond accidentellement au surcroît de besogne qu'apporte chacune des Expositions universelles. C'est en effet à l'École qu'a toujours été dévolu le soin d'organiser l'exposition du Ministère.

M. l'ingénieur en chef de Dartein, secondé par M. l'ingénieur Choisy, a dans ses attributions la direction de cet important service, auquel sont attachés M. Boulard, comme chef des dessinateurs, et M. le conducteur Huguenin, comme chef de l'atelier de photographie.

Dépôt des instruments de précision. — Cette branche des services de l'École a eu pour objet, dans le principe, d'entretenir en bon état les instruments dont les élèves ont à faire usage pour les opérations sur le terrain.

Ses attributions se sont étendues, et aujourd'hui elles embrassent la commande, la réception et la réparation de tous les instruments accordés par décision ministérielle aux ingénieurs de France et des colonies qui en font la demande.

D'autre part, le dépôt reçoit en magasin les instruments dont les ingénieurs n'ont plus l'emploi. Il les fait remettre à neuf et les réexpédie aux services qui en sont dépourvus.

M. l'ingénieur en chef Durand-Claye, aidé de M. le conducteur Klein, préside à ces achats, à ces réparations et à ces envois.

Dépôt des machines. — Le dépôt des machines répond à un besoin du même genre. Il a pour mission de commander, de recevoir et d'expédier les machines et les appareils dont l'achat est demandé par les ingénieurs et approuvé par le Ministre. Il centralise et conserve en magasin le matériel le plus précieux que beaucoup de chantiers laissent sans affectation, après l'achèvement des travaux.

C'est à M. l'ingénieur en chef Durand-Claye (Léon), aidé de M. le conducteur Klein, qu'incombe le soin immédiat du dépôt.

Atelier expérimental du Trocadéro.—L'enseignement scientifique des cours oraux se complète, chaque année, pour les élèves, par une série d'expériences qui leur donnent les notions pratiques sur les éléments des constructions. Tel est l'objet de la création de l'atelier expérimental du Trocadéro. Cet établissement a une autre utilité : il favorise les progrès de la science des constructions, en offrant

aux professeurs de l'École et aux autres ingénieurs qui en font la demande des moyens d'étude et d'expériences qu'il serait difficile de se procurer autrement sans beaucoup de frais.

L'organisation de l'atelier expérimental du Trocadéro a été commencée en 1867; elle est à peu près complète aujourd'hui; et elle a été exécutée sous la direction de M. l'ingénieur en chef Hervé Mangon, membre de l'Institut, alors professeur de l'École.

Laboratoire. — A la suite des belles découvertes de Vicat, on avait senti la nécessité de familiariser les élèves ingénieurs avec l'analyse chimique appliquée aux matériaux de construction. Un petit laboratoire, installé dans ce but en 1845, fut bientôt utilisé pour fournir aux ingénieurs, sur diverses questions relatives à leurs services, des renseignements exigeant des recherches chimiques ou physiques. L'importance des résultats obtenus fut telle, que l'Administration décida, en 1852, l'organisation définitive d'un bureau d'essai, annexe du laboratoire affecté aux manipulations des élèves de l'École des Ponts et Chaussées.

Le laboratoire annexé à l'École des Ponts et Chaussées se charge de toutes les analyses chimiques et de tous les essais qui ont pour objet les matériaux employés dans les constructions et les substances intéressant l'agriculture. Ses recherches s'appliquent notamment aux chaux, ciments, mortiers, plâtre, pierres à bâtir, briques, argiles, sables; eaux potables ou d'irrigations, terres arables, engrais et amendements.

Les ingénieurs de l'État ne sont pas seuls admis à profiter

des travaux du laboratoire. Les particuliers peuvent y recourir également. Il leur suffit d'adresser une demande écrite au directeur de l'École des Ponts et Chaussées, rue des Saints-Pères, n° 28, en y joignant un échantillon du produit à essayer. Les résultats des recherches sont transmis gratuitement à la personne qui a fait la demande : elle n'a que les frais de correspondance à supporter.

La durée de l'examen des échantillons est variable, suivant leur nature et l'importance des résultats à constater, et suivant l'état des travaux du laboratoire. Elle est, en moyenne, de trois à six semaines.

Depuis sa fondation jusqu'à la fin de l'année 1879, le laboratoire a reçu 5 096 demandes d'analyse ou d'essai, comprenant environ 23 000 échantillons.

Dans les six dernières années seulement, il a été examiné 1 452 demandes s'appliquant à 7 176 échantillons, qui se répartissent comme il suit :

Calcaires, chaux, ciments, mortiers, plâtres....	3 277
Argiles, sables, pouzzolanes, briques.....	729
Terres arables, engrais, amendements.....	1 327
Eaux potables, eaux d'irrigations, eaux d'égout..	1 283
Produits non compris dans les catégories précédentes.....	560
TOTAL.....	7 176

Le laboratoire a été organisé et dirigé, jusqu'à la fin de l'année 1872, par M. Hervé MANGON, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, membre de l'Institut et aujourd'hui directeur du Conservatoire des arts et métiers. M. MANGON a eu pour collaborateur, à partir de 1865, M. Léon DURAND-

Claye, actuellement ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, qui l'a remplacé dans la direction du laboratoire.

NOMENCLATURE DES DOCUMENTS

RELATIFS A L'ORGANISATION ET A L'ENSEIGNEMENT

DE L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

I. DOCUMENTS ADMINISTRATIFS.

(DOCUMENTS RÉUNIS EN 1 VOL. IN-8°.)

Notice sur l'École des Ponts et Chaussées. Paris, 1873, 1 brochure in-8°.

Décret du 13 octobre 1851, portant organisation du Corps des Ponts et Chaussées. Paris, 1867, 1 brochure in-8°.

Décret du 13 octobre 1851, portant organisation de l'École des Ponts et Chaussées. Paris 1867, 1 brochure in-8°.

Règlement intérieur de l'École des Ponts et Chaussées. Paris, 1879, 1 brochure in-8°.

École des Ponts et Chaussées. Admission des élèves externes aux cours de l'École. Décrets, arrêtés, décisions. Programme des connaissances exigées pour l'admission. Paris, 1878, 1 brochure in-8°.

Cours préparatoires pour l'admission des élèves externes à l'École des Ponts et Chaussées. Arrêté. Programme des connaissances exigées pour l'admission. Paris, 1878, 1 brochure in-8°.

Aucoc. — Des autorités administratives. Paris, Dunod, 1878, 1 brochure in-8°.

Malézieux. — Notice sur les externes. 1875, 1 brochure in-8°.

Notice sur les laboratoires de l'École. 1871, 1 brochure in-8°.

II. ENSEIGNEMENT.

1° COURS.

Programmes de l'enseignement intérieur de l'École des Ponts et Chaussées, arrêtés par le conseil de l'École et approuvés par le Ministre des travaux publics. Paris, 1875, 1 vol. in-4°.

Bresse. — Cours de mécanique appliquée professé à l'École des Ponts et Chaussées.

1re partie. Résistance des matériaux. 3e édition. Paris, Gauthier-Villars, 1880, 1 vol in-8°.

2e partie. Hydraulique. 3e édition. Paris, Gauthier-Villars, 1879, 1 vol. in-8°.

3e partie. Calcul des moments de flexion dans une poutre à plusieurs travées solidaires. Paris, Gauthier-Villars, 1865; texte, 1 vol. in-8°; atlas, 1 vol. in-4°.

Collignon (Édouard). — Cours de mécanique appliquée aux constructions :

1re partie. Résistance des matériaux. 2e édition. Paris, Dunod, 1877, 1 vol. in-8°.

2e partie. Hydraulique. Paris, Dunod, 1870, 1 vol. in-8°.

Bayle. — Cours de minéralogie et de géologie appliquées aux constructions. Paris, 1869-1874, 1 vol. in-4° lithographié. (La première partie est seule publiée.)

Garnier (Joseph). — Traité d'économie politique, sociale ou industrielle; exposé didactique des principes et des applications de cette science. 8e édition. Paris, Guillaumin, 1880, 1 vol. in-12.

Mangon (Hervé). — Traité de génie rural. Paris, Dunod, 1875. Le tome III, comprenant les machines agricoles, est publié. Texte, 1 vol. grand in-8°; atlas, 1 vol. in-folio de 26 planches. Les autres volumes paraîtront ultérieurement.

Mangon (Hervé). — Instructions pratiques sur le drainage, réunies par ordre du Ministre des travaux publics. 3e édition. Paris, Dunod, 1863, 1 vol. in-12.

Baron. — Notes prises par les élèves au cours de construction des routes. Instructions sur les ponceaux. Paris, 1874-1876, 1 vol. in-4° lithographié.

Guillemain. — Notes prises aux cours de procédés généraux de construction. Paris, 1880, 1 vol. in-4° lithographié.

Morandière. — Traité de la construction des ponts et viaducs en pierre, en charpente et en métal pour routes, canaux et chemins de fer. Paris, Dunod, 1875 à 1880; texte grand in-4°, atlas in-folio. (Les trois premières parties sont publiées.)

Malézieux. — Notes prises au cours de navigation intérieure. Paris, 1876-1877, 2 vol. in-4° lithographiés, texte et planches.

Mary. — Appendice au cours de navigation intérieure. Détails pratiques sur la distribution des eaux. Paris, 1868, 1 vol. in-4° lithographié.

Jacqmin. — Des machines à vapeur. Leçons faites en 1869-1870 à l'École des Ponts et Chaussées. Paris, Garnier, 1870, 2 vol. in-8°.

Gérardin. — Cours de machines à vapeur professé à l'École des Ponts et Chaussées. Paris, Garnier, 1876, 1 vol. in-4°.

Hirsch. — Résumé du cours de machines à vapeur et locomotives. Paris, 1877-1878, 1 vol. in-4° lithographié.

Sevène. — Notes prises au cours de chemins de fer. Paris, 1876-1877, 2 vol. in-4° lithographiés, texte et planches.

Jacqmin. — De l'exploitation des chemins de fer. Leçons faites en 1867 à l'École des Ponts et Chaussées. Paris, Garnier, 1868, 2 vol. in-8°.

Jacqmin. — Les chemins de fer pendant la guerre de 1870-1871. Leçons faites à l'École des Ponts et Chaussées. 2e édition, 1874, 1 vol. in-12.

Voisin-Bey. — Cours de travaux maritimes professé à l'École des Ponts et Chaussées. Paris, 1875, 1 vol. in-4° lithographié, comprenant les chapitres I et VIII.

Reynaud (Léonce). — Traité d'architecture :

1re partie. Art de bâtir. — Études sur les matériaux de construction et les éléments des édifices.

2e partie. Composition des édifices. — Étude sur l'esthétique, l'histoire et les conditions actuelles des édifices. 4e édition. Paris, Dunod, 1870-1878; texte, 2 vol. in-4°; atlas, 2 vol. in-folio.

Aucoc (Léon). — Conférences sur l'administration et le droit administratif, faites à l'École des Ponts et Chaussées. Paris, Dunod, 1876-1879, 3 vol in-8°. (Le tome IV est sous presse.)

Durand-Claye (Léon). — Cours de chimie appliquée aux matériaux de construction, aux eaux naturelles, aux terres et aux produits agricoles :

1re partie. Analyse chimique. Essai des matériaux de construction. Paris, 1875, 1 vol. in-4° lithographié.

2e partie. Propriétés des matériaux employés dans les constructions Note sur les chaux et mortiers. Paris, 1876, 1 vol. in-4° lithographié.

2° CONFÉRENCES.

Amiot. — Résumé des conférences sur la télégraphie électrique. Paris, 1874, 1 vol. in-4° lithographié.

Davanne. — Résumé des conférences sur la photographie. Paris, 1874, 1 vol. in-4° lithographié.

Coumes. — Résumé des conférences sur la pisciculture. Paris, 1874, 1 vol. in-4° lithographié.

Tronquoy. — Instructions sur l'exécution des levers de machines et la mise au net des dessins. Paris, 1868, 1 vol. in-4° lithographié.

Marchal. — Conférences sur le service vicinal, faites à l'École des Ponts et Chaussées. Paris, 1874, 1 vol. in-4° lithographié.

Saint-Yves. — Conférences sur les tramways, faites à l'École des Ponts et Chaussées. Paris, 1878, 1 vol. in-4° lithographié.

3° DOCUMENTS DIVERS.

Collection de dessins distribués aux élèves de l'École des Ponts et

Chaussées. Paris, 1857 à 1879; texte, 2 vol. in-8°; atlas, 2 vol. in-folio. (Livraisons 1 à 16.)

Catatogue des livres formant la bibliothèque de l'École des Ponts et Chaussées. Paris, Imprimerie nationale, 1872, 1 vol. in-8°.

Catalogue des modèles composant les galeries de l'École des Ponts et Chaussées. Paris, Imprimerie nationale, 1873, 1 vol. in-8°.

Catalogue des matériaux de construction. Paris, Dunod, 1878, 1 vol. in-8°.

Service hydrométrique du bassin de la Seine. — Résumé des observations centralisées. Paris, 1868-1878; texte, 1 vol. in-8°; planches, 1 vol. in-folio.

4° RAPPORTS PUBLIÉS PAR LES INGÉNIEURS OU FONCTIONNAIRES ENVOYÉS EN MISSION HORS DE FRANCE.

Malézieux. — Travaux publics aux États-Unis d'Amérique en 1870. Rapport de mission, publié par ordre de M. le Ministre des travaux publics. Paris, Dunod, 1873; texte et atlas, 2 vol. in-4°.

Malézieux. — Les chemins de fer anglais en 1873. — Rapport de mission. Paris, Dunod, 1874, 1 vol. in-4°.

Dartein (De). — Étude sur l'architecture lombarde et sur les origines de l'architecture romano-byzantine. Paris, Dunod, 1865-1878; texte, 1 vol. in-4°; atlas, 1 vol. in-folio.

Choisy. — L'art de bâtir chez les Romains. Paris, Ducher, 1873, 1 vol. petit in-folio.

Croizette-Desnoyers. — Notice sur les travaux publics en Hollande. Paris, Dunod, 1873; texte et atlas, 2 vol. in-4°.

Ruolz (Comte de). — Question des houilles. — Mission en France et en Angleterre. — Paris, Imprimerie nationale, 1872 à 1875, 4 vol. grand in-8°.

Lavoinne et Pontzen. — Les chemins de fer en Amérique. Paris, Dunod, 1879; texte, 1 vol. in-8°; atlas, 1 vol. in-4°.

Chemin. — Les tramways. Paris, Dunod, 1879; texte, 1 vol. in-8°; planches, 1 vol. in-4°.

5° COURS PRÉPARATOIRES.

Collignon (Édouard). — Cours d'analyse de l'École préparatoire à l'externat de l'École des Ponts et Chaussées, avec appendice. Paris, Dunod, 1877-1880, 2 vol. in-8°.

Collignon (Édouard). — Cours de mécanique professé à l'École des Ponts et Chaussées. Paris, Hachette, 1879-1880. 4 vol. in-8°.

Collignon (Édouard). — Cours d'analyse et de mécanique professé à l'École des Ponts et Chaussées. Notes prises par les élèves. Paris, 1876-1877, 2 vol. in-4° lithographiés.

Gariel. — Cours de physique professé à l'École des Ponts et Chaussées. Notes prises par les élèves. Paris, 1876, 1 vol. in-4° lithographié.

Pillet. — Cours de géométrie descriptive et de stéréotomie professé à l'École des Ponts et Chaussées. Notes prises par les élèves. Paris, 1876, 1 vol in-4° lithographié.

Durand-Claye. — Cours de chimie professé à l'École des Ponts et Chaussées. Notes prises par les élèves. Paris, 1878, 1 vol in-4° lithographié.

Lalanne. — Exposé de deux méthodes pour abréger les calculs des terrassements. Paris, Dunod, 1879, 1 vol. in-8°.

Lalanne. — Collection de tableaux et procédés graphiques. 1879, 1 vol. in-4°.

6° OUVRAGES DIVERS.

Sganzin, Reibell et Lalanne. — Programme ou résumé des leçons d'un cours de construction. 1er fascicule. Paris, Dunod. 1865-1867; texte, 1 vol. in-4°; planches, 1 vol. in-folio.

Annales des Ponts et Chaussées de 1871 à 1879. Paris, Dunod, 1871 à 1879. 4 vol. in-8° par an; tables de 1831 à 1875.

Lagrenée (De). — Cours de navigation intérieure. Paris, Dunod, 1869; texte et atlas, 2 vol. in-4°.

Dupuit (J.) — Traité de l'équilibre des voûtes et de la construction des ponts en maçonnerie. Paris, Dunod, 1870; texte, vol. in-4°; atlas, 1 vol. in-folio.

Darcy H. et Bazin H. — Recherches hydrauliques :

1re partie. Écoulement de l'eau dans les canaux découverts.

2e partie. Recherches expérimentales sur la propagation des ondes. Paris, Dunod, 1866 ; texte et planches 2 vol. in-4°.

Dupuit (J.) — Traité théorique et pratique de la conduite et de la distribution des eaux. — Paris, Dunod, 1865; texte et atlas, 2 vol. in-4°.

Belgrand. — La Seine, régime des pluies, des sources, des eaux courantes, applications à l'agriculture. Paris, Dunod, 1873; texte, 1 vol. in-8°; planches 1 vol. in-folio.

Belgrand. — Les eaux, introduction, les aqueducs romains. Paris, Dunod, 1875; texte, 1 vol. in-8°; atlas, 1 vol. in-folio.

Belgrand. — Les anciennes eaux. Paris, Dunod, 1877; texte, 1 vol. in-8°; atlas, 1 vol. in-folio.

Revue générale des chemins de fer, mémoires et documents concernant l'établissement, la construction et l'exploitation technique et commerciale des voies ferrées. Paris, Dunod, 1878-1879, 3 vol. in-4°.

Darcel. — Architecture des jardins. Paris, Dunod, 1875, 1 vol. in-4°.

Darcel. — Mémoire sur l'éclairage des villes. Paris, Dunod, 1878, 1 vol. in-8°.

XXXVIII

MÉTHODES GRAPHIQUES

POUR

L'EXPRESSION DES LOIS EMPIRIQUES OU MATHÉMATIQUES

À TROIS VARIABLES,

AVEC DES APPLICATIONS À L'ART DE L'INGÉNIEUR

ET À LA RÉSOLUTION DES ÉQUATIONS NUMÉRIQUES D'UN DEGRÉ QUELCONQUE,

PAR M. LÉON LALANNE,
Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur de l'École,
Membre de l'Institut.

Avis préliminaire. — La notice qui va suivre est, pour la majeure partie, la reproduction de celle qui a figuré dans la publication faite sur les travaux des Ponts et Chaussées, par le Ministère des travaux publics, à l'occasion de l'Exposition universelle de Paris en 1878. Deux années s'étant écoulées depuis lors, il était naturel que l'auteur revît avec soin son travail. C'est ce qu'il a fait, en cherchant à le compléter et à corriger quelques inexactitudes qui lui avaient échappé.

Plan et but de la notice. — Les méthodes graphiques, dont les principaux résultats vont être exposés ici, ont pris naissance et se sont développées sous l'influence des besoins de divers services qui exigeaient, de la part des ingénieurs et des agents des Ponts et Chaussées, l'emploi de moyens

expéditifs pour la confection de calculs parfois pénibles et toujours très longs.

L'indication sommaire des circonstances qui ont donné lieu aux idées nouvelles mettra en lumière les lenteurs de conception, les hésitations, les erreurs même par lesquelles on est passé, et qu'un exposé purement didactique aurait dissimulées. Mais la philosophie de la science a plus à gagner à l'observation attentive et au récit sincère de la manière dont les idées s'engendrent et se succèdent, que ne peut avoir à y perdre l'amour-propre des auteurs.

Origine de l'emploi des méthodes graphiques pour les calculs que comporte la rédaction des projets. — Chargé en 1834 d'un service qui comportait l'ouverture presque immédiate de routes nouvelles et par conséquent la préparation rapide des projets, et avant tout l'évaluation des terrassements à faire et des superficies à exproprier, l'auteur de la présente notice avait commencé par profiter, en les généralisant (1835), des méthodes imaginées et déjà employées avec succès par l'ingénieur en chef M. Fourier, lors de la création des routes stratégiques. Feu Coriolis, de l'Académie des sciences, s'était occupé simultanément du même objet, et les tables numériques qu'il avait calculées à Paris étaient adressées aux ingénieurs des départements le 18 janvier 1836 et le 24 août 1837.

Cependant il était à désirer qu'on cherchât une méthode qui, même au prix de calculs plus longs, fût applicable aux cas non prévus dans les tables d'une étendue nécessairement limitée et dressée pour des gabarits déterminés. L'auteur de cette notice ayant exposé à Coriolis une

solution de ce genre, sur l'avis conforme de ce maître vénéré, l'Administration fit distribuer à tous les ingénieurs, avec une circulaire explicative en date du 27 mars 1840, un volume portant le titre : *Tables nouvelles pour abréger divers calculs relatifs aux projets de routes*, etc. Paris, Imprimerie royale, février 1839, in-8°. (Voir Annales des Ponts et Chaussées, *lois et ordonnances*, 1840, p. 289.)

C'est dans cette publication que se trouve énoncée pour la première fois l'idée d'une représentation graphique relative aux nombres qu'il s'agit de calculer et aux tables dans lesquelles on peut les ranger après les avoir obtenus. Ces nombres, dans le cas le plus général d'une route avec fossés latéraux, ne dépendent pas de moins de neuf systèmes de formules, parmi lesquels il en est quatre qui sont de beaucoup les plus usités, et qui correspondent à un profil transversal tout en déblai ou tout en remblai. Les cinq autres cas sont déterminés par certaines conditions d'inégalité entre les données du profil transversal, où l'on trouve à la fois du déblai et du remblai.

Mais l'opération préliminaire qui consiste à chercher quel est celui des neuf systèmes de formules à employer peut être facilitée par une construction graphique qui se présente naturellement à l'esprit. On observe d'abord que, pour un gabarit déterminé, le calcul ne dépend que de la *cote sur l'axe* et de la *déclivité transversale* à partir de l'axe; de sorte qu'en considérant les déclivités transversales comme des abscisses positives lorsqu'elles sont en *rampe*, négatives lorsqu'elles sont en *pente*, en comptant de même sur les ordonnées positives les cotes en déblai, et sur les ordonnées négatives les cotes en remblai, tous les cas possibles cor-

respondent à des points compris à l'intérieur d'un rectangle dont les dimensions sont déterminées par les valeurs extrêmes admises pour les déclivités transversales et pour les déblais ou remblais sur l'axe. Or, dans les inégalités qui limitent l'emploi des divers systèmes de formules, les déclivités et les cotes n'entrent qu'au premier degré. Les espaces qui comprennent l'ensemble des points dont les coordonnées (*cote* et *déclivité*) correspondent à l'un des neuf systèmes de formules sont donc limités par des lignes droites.

C'est ce qui devient manifeste à l'inspection seule de la figure 1. Le rectangle total MNQS est divisé en quatre rectangles égaux et correspondant, savoir :

OAMB OASB′	à un terrain en rampe ($x = c$) et à une cote en	déblai	$y = d$.
		remblai —	$y = r$.
OA′NB OA′QB′	à un terrain en pente — $x = p$ et à une cote en	déblai	$y = d$.
		remblai —	$y = r$.

Sauf le premier cas, qui n'admet qu'une formule, parce que la superficie du demi-profil en travers est alors tout en déblai, chacun des autres se subdivise; et les numéros de 1 à 9 indiquent quels espaces triangulaires ou trapézoïdaux occupe, sur la figure, l'ensemble des points dont les coordonnées correspondent aux systèmes de formules portant les mêmes numéros.

Une première conséquence, qui n'est pas sans intérêt, consiste en ce que les nombres de cas auxquels les divers systèmes de formules sont applicables, sont proportionnels aux superficies de ces espaces rectangulaires, triangulaires ou trapézoïdaux; de sorte que les rapports de deux de ces

superficies expriment, à priori, les probabilités respectives d'avoir à employer tel ou tel système de formules, toutes choses égales d'ailleurs.

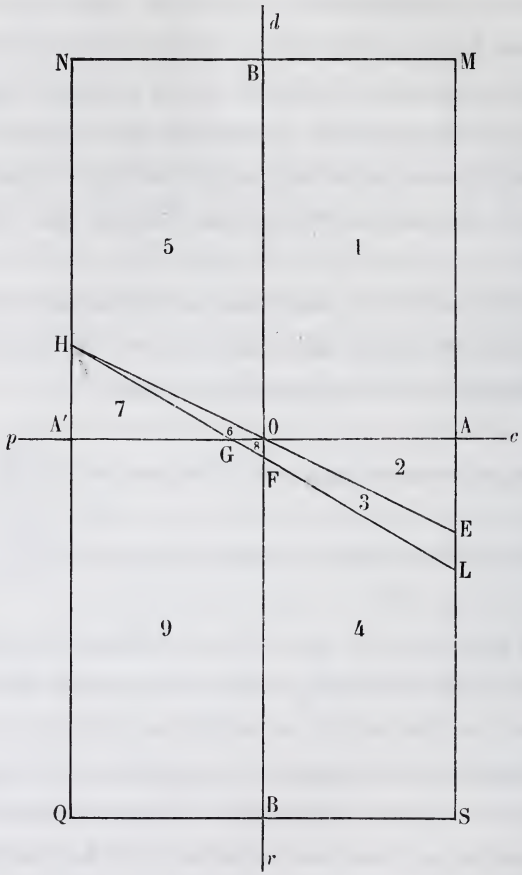


Fig. 1. — Représentation graphique des espaces correspondant aux neuf systèmes de formules à employer dans les calculs relatifs aux projets de routes.

Première application de ce genre. — Il était bien naturel de profiter de cette figure pour arriver à une expression géométrique des valeurs obtenues au moyen des for-

mules. Il suffisait d'imaginer qu'en chacun des points du plan supposé horizontal on élève une verticale proportionnelle à la superficie de déblai ou de remblai correspondant aux deux coordonnées de ce point, et qu'on fait passer une surface courbe continue par les extrémités de toutes ces perpendiculaires. Cette idée si simple en apparence ne se manifeste pas encore dans le travail de 1839, quoique l'on s'en soit fort approché. (Voir p. 14 de l'*Instruction* qui précède les TABLES NOUVELLES.)

Elle n'apparaît que lors d'une publication faite à la demande de Reibell, l'éminent ingénieur auquel on doit la quatrième édition du *Programme ou Résumé du cours de construction*, de Sganzin. Dans un appendice à cet ouvrage, où les nouvelles méthodes de calcul pour la rédaction des projets de routes sont résumées et accompagnées de tables numériques abrégées (1842), on a exposé nettement la construction des surfaces courbes de ce genre, au-dessus du plan de projection horizontal figuré dans le diagramme précédent, et on a fait ressortir l'avantage qu'offrirait le tracé des projections des courbes de niveau de ces surfaces pour la détermination des valeurs des ordonnées verticales à calculer dans chaque cas particulier. La figure 2 n'est autre que le rectangle OAMB de la figure 1 agrandi, à l'intérieur duquel on a tracé de 10 en 10 les lignes de niveau paraboliques de la surface courbe correspondant à un gabarit de 10 mètres de largeur de plate-forme, et dont les ordonnées verticales représentent les valeurs des superficies de déblai : lignes de niveau comprises dans l'équation

$$z = \frac{(6^{m},50+y)^2}{2(1-x)} - 20,625,$$

lorsque l'on y fait varier successivement z de 10 en 10 depuis zéro jusqu'à 250. Si l'on veut trouver, au moyen de cette figure, la valeur z de la superficie d'un demi-profil en déblai, pour une route d'une largeur de 10 mètres entre

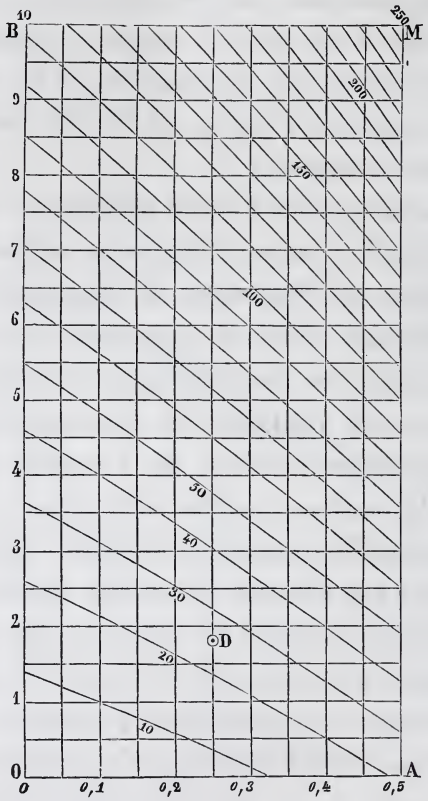


Fig. 2. — Représentation graphique des résultats numériques donnés par le premier des neuf systèmes de formules de la figure précédente.

fossés, la déclivité transversale x prise pour abscisse étant de $0^m,250$ en rampe et la cote sur l'axe y prise pour ordonnée étant de $1^m,80$ en déblai, le point D (entouré d'un petit cercle), qui est déterminé par ces deux coordon-

nées sur la figure, tombe sensiblement au milieu de l'intervalle entre les courbes cotées 20 et 30; on prendra donc 25 pour la valeur correspondante de z, de l'ordonnée verticale, et la superficie de déblai cherchée est, approximativement, de 25 mètres carrés. Le calcul exact donne $25^{mq},30$.

Principe général de l'expression graphique d'une table numérique à double entrée; anciens exemples connus. — Ce qui avait été fait pour remplacer une table numérique à double entrée, dont les résultats dépendent d'une formule à deux variables indépendantes, était évidemment applicable à toutes les formules du même genre et, plus généralement, à toutes les lois dans l'expression desquelles il entre trois éléments variables. Telle est la nouvelle étape qui a été franchie, dans cette marche progressive, le jour où l'on a énoncé qu'une loi de ce genre, qu'elle soit naturelle, empirique ou mathématique, peut être représentée par une surface, et par conséquent par un plan topographique à courbes de niveau cotées.

C'est dans l'*Appendice à la Météorologie de Kaemtz*, traduite et annotée par Ch. Martins, que l'auteur de cette notice donna, pour la première fois, un exposé général de cet ordre d'idées, avec application spéciale aux lois de la météorologie (1843). Quatre planches jointes au volume renferment un grand nombre d'exemples de ces plans topographiques, de ces figures à courbes d'égal élément. La plus remarquable, celle qui a été reproduite le plus souvent et que nous avons construite la première, porte ici le n° 3. Elle exprime la loi des températures observées à Halle par

Kaemtz, pour chacune des heures du jour (ordonnées) et pour chacun des mois de l'année (abscisses). Les lignes de faîte et de thalweg, les sommets et les dépressions qu'elle présente, lui donnent avec le relief d'un terrain accidenté une ressemblance qui frappe vivement ceux qui la voient pour la première fois. L'auteur n'oubliera jamais la chaleureuse et bienveillante insistance avec laquelle l'illustre Élie de

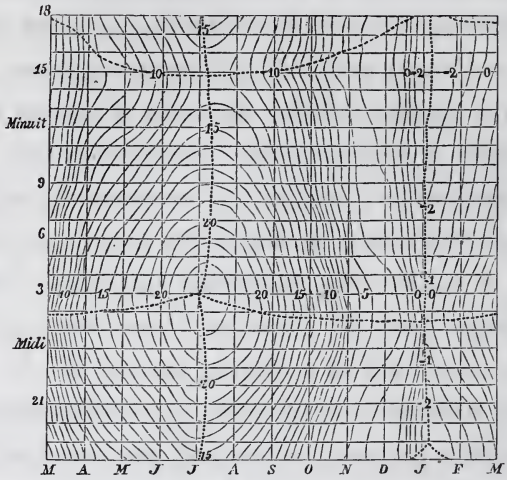


Fig. 3. — Représentation graphique des variations mensuelle et horaire de la température à Halle, d'après Kaemtz.

Beaumont l'engagea à faire, de cette application des plans cotés, l'objet d'une communication à l'Académie des sciences. Il voulait que cette notation expressive fût propagée de manière à fournir, dans une foule de cas, des vues d'ensemble que des tableaux de chiffres ne sauraient donner, lors même qu'ils en offrent tous les éléments[1].

[1] La partie du texte de mon *Appendice* à la traduction de la Météorologie

En effet, à cette époque, s'il existait un petit nombre de circonstances où l'on avait représenté des lois à trois variables par des courbes d'égale cote, la plupart de ces exemples isolés semblent n'avoir été rattachés par leurs auteurs à aucun ordre d'idées général. Les propriétés des plans à lignes de niveau cotées continuaient à n'être étudiées qu'en ce qui concerne l'expression du relief du sol; et si l'on avait employé des lignes d'égal élément pour tenir lieu d'un tableau numérique à double entrée, c'était presque toujours sans paraître se douter qu'elles sont la représentation de surfaces existant dans l'espace, dont le relief ressort de l'aspect même du plan coté.

Tel est le cas de l'*Arithmétique linéaire* insérée par Pouchet, en 1795, dans la deuxième édition de son livre intitulé: *Échelles graphiques des nouveaux poids, mesures et monnoies de la République française*, Rouen et Paris, an IV de la République (in-8°), où l'on voit pour la première fois un tableau graphique à double entrée employé concurremment avec le compas pour effectuer les multiplications et les divisions. Dans une nouvelle édition, intitulée : *Métrologie terrestre* (Rouen, 1797), ce tableau est modifié de manière à dispenser de l'usage du compas.

Beaucoup plus tard, en 1840, un habile ingénieur de la marine, Allix, publia pareillement un *Nouveau système de tarifs* (Bachelier, in-8°) où des tableaux graphiques donnent, sans calcul et sans l'emploi d'aucun instrument, le poids des métaux en barres et en feuilles, le cube des bois bruts

de Kaemtz qui se rapporte à cette figure est entachée de grosses erreurs en ce qui concerne la recherche de moyennes, que j'ai mal à propos confondues avec les ordonnées de centres de gravité.

ou équarris, le cube des pierres de taille, etc. etc. Les lignes d'égale cote, dans ces tableaux, n'ont d'ailleurs été rattachées en rien aux surfaces dont elles sont implicitement la représentation.

Le nom de d'Obenheim, officier du génie et professeur à l'École d'artillerie de Strasbourg, trouve sa place entre ceux de Pouchet et d'Allix. Dans sa *Balistique* (Strasbourg, 1814) et dans son *Mémoire sur la planchette du canonnier* (Strasbourg, 1818), ce savant indique implicitement la construction des courbes d'égale cote; mais il ne la rapporte pas non plus à l'idée des coupes horizontales des surfaces.

Ce fut seulement dans le n° 3 du *Mémorial d'artillerie*, publié en 1830, que, rendant compte des ouvrages de d'Obenheim, le savant bibliothécaire du Dépôt central de l'artillerie, Terquem, énonça clairement cette idée (p. 297). Dans le même volume, à propos d'une construction graphique des tables de Lombard, proposée par M. Bellencontre, chef d'escadron d'artillerie, il revient sur le même sujet (p. 376) et montre qu'une formule qui renferme trois variables représentant une surface dans l'espace, les projections horizontales cotées des sections équidistantes faites dans la surface parallèlement à l'horizon, donnerait, par des lectures à vue, les mêmes résultats qu'une table numérique à double entrée.

Quoi qu'il en soit de la part de priorité appartenant aux auteurs qui viennent d'être cités, Pouchet, d'Obenheim, Bellencontre, Terquem, Allix, l'emploi des méthodes graphiques comme procédé de calcul était à peine connu et demeurait restreint à un petit nombre de cas, jusqu'au

moment où ces méthodes furent, à l'Académie des sciences, l'objet du rapport très favorable (11 septembre 1843) d'une commission composée de MM. Élie de Beaumont, Lamé; Cauchy, rapporteur. (*Comptes rendus*, t. XVII, p. 492.)

Principe nouveau de la graduation des coordonnées; anamorphose géométrique. — Cependant, il est peu probable que l'usage des tableaux graphiques à courbes d'égale cote se fût jamais beaucoup propagé. La construction en est longue, pénible, et la lecture y est gênée par la difficulté de suivre une même courbe, à moins de multiplier considérablement les cotes. Une étude plus approfondie vint bientôt fournir un système de construction n'ayant aucun de ces inconvénients.

Une propension naturelle porte presque toujours l'auteur qui se croit en possession d'une idée nouvelle à l'appliquer au plus grand nombre de cas possible. C'est par suite de cette disposition psychologique qu'en cherchant à convertir en tableau graphique à lignes d'égale cote une table de logarithmes à double entrée, dans le genre de celles de Callet, on ne tarda pas à s'apercevoir que, la somme des coordonnées de tous les points d'une droite également inclinée sur les axes étant constante, il suffisait de compter sur ces axes des longueurs proportionnelles, non plus aux valeurs numériques des coordonnées, mais à leurs logarithmes, pour que le lieu géométrique de tous les points du plan, dont le produit des distances aux axes est constant, devînt une ligne droite. Avec des axes de coordonnées gradués en parties égales, on avait la suite des hyperboles équilatères dans laquelle *la puissance* varie comme les nombres

naturels; c'était le tableau de Pouchet. En remplaçant les divisions égales par une graduation logarithmique, les lignes d'égal produit cotées 1, 2, 3, 4, etc. deviennent des lignes droites inclinées à 45° sur les axes. Les hyperboles ont donc été transformées en d'autres lignes grâce à l'emploi de *coordonnées graduées* suivant une loi déterminée; et ce genre de transformation peut être qualifié d'*anamorphose géométrique*.

Le tableau connu depuis 1843, et que nous avons désigné sous le nom d'*Abaque ou Compteur universel*, est l'*anamorphose* de la table de Pouchet. Il se compose essentiellement de trois faisceaux de droites, savoir les *verticales* correspondant aux abscisses, les *horizontales* correspondant aux ordonnées et les *obliques* dont *la cote* exprime le produit de l'abscisse par l'ordonnée.

Le principe de la graduation des coordonnées consiste en ce que si, dans une équation à trois variables, la séparation des variables peut être opérée en les remplaçant par certaines fonctions de chacune d'elles, la graduation des axes des coordonnées, effectuée suivant la loi qu'expriment ces fonctions, donnera lieu à une anamorphose et réduira à des lignes plus simples les coupes que des plans horizontaux déterminent dans la surface.

Dans l'exemple précédent, on avait l'équation

$$xy = z;$$

on a fait

$$x' = \log x, \quad y' = \log y, \quad z' = \log z,$$

et on en a tiré

$$x' + y' = z'.$$

Les lignes droites parallèles que l'anamorphose a substituées aux hyperboles comprises entre les mêmes asymptotes pourraient, à leur tour, être remplacées par des circonférences concentriques, car il suffirait de poser :

$$x' = x''^2, \quad y' = y''^2, \quad z' = z''^2,$$

pour que la proposée devînt

$$x''^2 + y''^2 = z''^2;$$

la graduation des coordonnées se fait, dans ce cas, suivant les racines carrées des logarithmes des nombres.

Premières applications aux projets de chemins de fer et de routes. — Tels sont les principes[1] sur lesquels est fondée la solution du problème dont se préoccupait alors l'Administration des travaux publics. La loi du 11 juin 1842 avait décidé l'établissement du premier réseau des chemins de fer, qu'il s'agissait d'exécuter promptement, et il fallait des procédés expéditifs pour évaluer les terrassements considérables que comportent les travaux de ce genre. Stimulé par des circonstances analogues à celles qui s'étaient présentées en 1834, lors de l'ouverture des routes départementales de la Manche, on venait d'amener à un degré de simplicité inespéré des calculs qui auraient exigé l'emploi

[1] Ces principes et leurs applications ont été exposés dans le mémoire dont l'Académie avait autorisé l'insertion dans le Recueil des savants étrangers et qui a paru avec plus de développements aux Annales des Ponts et Chaussées (1er sem. 1846), sous le titre : *Mémoire sur les tables graphiques et sur la géométrie anamorphique.* Le suffrage des ingénieurs a décerné une médaille d'or à ce mémoire. (Annales, 2e sem. 1847, p. 378.)

de tables numériques que l'on ne possédait pas et dont l'établissement aurait coûté fort cher. Avec sa circulaire en date du 2 septembre 1843, le Sous-Secrétaire d'État des travaux publics adressait à tous les préfets et à tous les ingénieurs deux feuilles de tables graphiques relatives aux chemins de fer à deux voies. (Annales, *Lois et ordonnances*, 1843, p. 676.) Des tables du même genre pour les projets de chemins vicinaux de 6 mètres de largeur étaient pareillement envoyées par le Ministre de l'intérieur aux préfets et aux agents voyers (circulaire n° 50, 1843).

Des applications de ce système de tables graphiques qui ne comportent que trois cours de droites s'entrecoupant (horizontales, verticales et obliques) ont été faites à diverses époques, notamment par l'auteur, pour des chemins de fer projetés à une ou à deux voies, dans le centre de la France de 1844 à 1846, et tout récemment (en 1877) par M. l'ingénieur en chef Ricour, pour diverses lignes de l'exécution desquelles il était chargé au compte de l'État.

Une circonstance particulière a donné naissance à un nouveau modèle de tables. Feu Davaine, ingénieur de beaucoup de mérite, avait imaginé et publié en 1845, dans les *Mémoires de la Société des sciences de Lille*, un tableau graphique très original, pour déterminer à la fois tous les éléments dont il vient d'être question. On avait même attribué à ce tableau qui comportait l'emploi d'une série de lignes courbes d'un tracé difficile, une généralité qu'il ne possédait réellement pas. L'anamorphose de la figure, opérée par l'application du principe de la graduation des coordonnées, transforma les courbes en droites parallèles et fit apparaître quatre cours de droites entre-croisées à 45°, dont

l'ensemble n'est autre qu'un fragment de l'*Abaque* primitif, complété par le faisceau des *transversales* perpendiculaires aux *obliques*. Or l'emploi simultané de ces transversales et des trois autres cours de droites permet d'opérer sur les carrés aussi facilement que sur les nombres eux-mêmes, et notamment d'obtenir par une simple lecture le quotient du carré d'un nombre par un autre nombre, ce qu'exige l'évaluation de la superficie de déblai ou de remblai dans un profil en travers. La polémique courtoise survenue par suite de la publication du mémoire de M. Davaine n'était donc pas perdue pour la science, puisqu'elle avait donné naissance à des variantes intéressantes dans l'établissement des tables graphiques[1].

Parmi les tables de ce système, la première en date est celle dont le manuscrit a été donné par l'auteur à la bibliothèque de l'École des Ponts et Chaussées et qui a pour titre : *Notice sur les procédés de calcul employés par les ingénieurs anglais pour la rédaction des projets de chemin de fer, avec un tableau graphique destiné à remplacer et à compléter ces tables* (1851).

[1] Voir à ce sujet le mémoire intitulé : *Examen critique d'un tableau graphique publié par M. Davaine, et nouvelles applications de la géométrie anamorphique.* (Annales des Ponts et Chaussées, 1er sem. 1850, p. 133.) M. Davaine, au jugement duquel M. Lalanne en avait appelé au sujet de certains passages du mémoire de Lille, répondit avec une loyauté et une bienveillance auxquelles on doit rendre hommage : « J'espère, dit-il, qu'il voudra bien trouver dans la date de cette pièce une excuse suffisante pour les assertions qu'il rappelle. Je n'avais pas alors connaissance des beaux mémoires qu'il a publiés depuis, mais alors même, si j'avais eu à m'expliquer sur le mérite de ses travaux, M. Lalanne n'aurait pu trouver dans mes opinions que l'expression sincère de la plus haute estime et le désir de lui laisser tout l'honneur de ses ouvrages. » (Annales des Ponts et Chaussées, *ibid.* p. 174.)

Un peu plus tard, lors de la reprise de travaux qui suivit l'établissement d'un nouveau régime politique, les Compagnies des chemins de fer du Nord et de l'Est, pressées d'exécuter diverses lignes non comprises dans les concessions primitives et qui étaient imposées, à la première par le décret du 19 février 1852, à la seconde par le décret du 17 août 1853, prièrent l'auteur des méthodes nouvelles d'établir des tables appropriées à leurs gabarits spéciaux. Ces tables furent dressées et gravées en 1852 et 1854, suivant le nouveau système qui réunit sur une même planche les superficies de déblai et de remblai, les longueurs des emprises et les longueurs des talus pour des cotes de déblai ou de remblai jusqu'à 20 mètres et pour des inclinaisons du terrain naturel s'élevant jusqu'à $0^m,500$. Des tables du même genre ont servi à la rédaction des projets du réseau de l'Ouest des chemins de fer suisses, dont l'auteur de cette notice avait la direction (1851).

Tout récemment encore, lorsque l'impulsion extraordinaire donnée aux travaux publics a déterminé à entreprendre des études pour l'établissement de nouveaux chemins de fer sur l'étendue entière du territoire français, l'Administration supérieure a accueilli avec empressement la proposition que faisait l'auteur de la méthode anamorphique de calculer de nouvelles tables appropriées à divers gabarits où la largeur de la plate forme et l'inclinaison des talus de déblai varient. Ces tables ont été gravées au nombre de huit, envoyées à tous les ingénieurs et recommandées à leur attention d'une manière spéciale par la circulaire ministérielle du 30 juillet 1879. « J'ai d'autant moins hésité à en ordonner l'exécution, dit le Ministre (M. de Freycinet),

que l'emploi des procédés graphiques comme moyen de calcul se répand chaque jour davantage en France ainsi qu'à l'étranger, et que l'avis du Conseil général des Ponts et Chaussées est venu confirmer le verdict du Jury de l'Exposition universelle pour la classe 66, verdict en vertu duquel la plus haute des récompenses, le diplôme d'honneur, a été décernée, dans l'exposition spéciale du Ministère des travaux publics, à l'ensemble des procédés graphiques dont les nouveaux tableaux sont une application. »

Au moment même où cette notice va être livrée à l'impression, l'auteur vient encore d'achever quatre tableaux du même genre pour les chemins de fer de la Corse, dont le gabarit spécial est beaucoup plus étroit que celui qui est usité pour les chemins de l'État sur le continent.

Prix de revient des tables. — Économie de temps qu'elles procurent. — La dépense des tables gravées en 1843 s'est élevée, pour 1000 exemplaires, à 1309 francs, soit $1^{f},31$ par exemplaire complet d'une superficie totale de $1^{mq},05$, y compris 300 francs de frais de calcul.

Ces tables donnent les aires en déblai et en remblai dans les profils en travers et les largeurs des emprises pour des cotes allant jusqu'à 10 mètres sur l'axe.

M. l'ingénieur en chef Ricour a établi sur quatre planches de $0^{m},70$ sur $0^{m},30$ autant de tables qui font connaître les superficies de déblai et de remblai, les largeurs d'emprise et les longueurs des talus pour des cotes sur l'axe allant jusqu'à 20 mètres et pour des déclivités du profil transversal jusqu'à 0,40. Le report sur pierre et le tirage à 200 exemplaires, y compris la fourniture du papier, ont

coûté 124 francs, soit $0^{f},62$ pour chaque collection de quatre tableaux d'une superficie totale d'environ $0^{mq},84$. L'établissement de chacun des tableaux a exigé quatorze heures de calcul et vingt-huit heures de dessin.

Ces chiffres de dépenses s'appliquent, comme on l'a déjà dit, aux tables calculées dans le système primitif qui donne séparément les surfaces, les emprises et les talus. Pour les tables du dernier modèle, qui font connaître simultanément ces trois éléments, au moyen des deux données de la question, nous sommes arrivé à obtenir pour 3 464 francs 3 000 exemplaires d'une collection de huit tableaux, ce qui met à $1^{f},155$ le prix de l'exemplaire et à $0^{f},144$ le prix d'un des tableaux. Les frais des calculs et des dessins qui servent de modèle aux autographistes et aux graveurs ne sont pas compris dans les chiffres précédents, qui ne descendent aussi bas qu'à cause du grand nombre d'exemplaires qui a été demandé pour les besoins du service, lors de la distribution faite par les soins de l'Administration.

Le cent d'exemplaires des tables pour les deux profils spéciaux de la Corse, au contraire, n'est pas revenu à moins de 553 francs, soit $0^{f},691$ pour chacun des quatre tableaux gravés dont se compose la collection applicable à deux gabarits différents.

Quant à l'économie de temps qui résulte de l'emploi des tables graphiques, elle est considérable, surtout si l'on a égard à ce qu'elles dispensent de dessiner les profils en travers. Dans le système des tables de 1843, il résulte de l'expérience de M. Ricour que deux minutes suffisent pour lire les trois nombres cherchés : aire, emprise et talus, et que l'erreur commise dépasse rarement 1 p. o/o.

Avec le nouveau système où la lecture de ces trois quantités se fait sur un seul tableau au lieu de deux, la durée des opérations est encore abrégée. Dans la pratique, on trouverait un avantage notable à faire appeler à haute voix les données de la question par un employé qui inscrirait ensuite sous la dictée de l'opérateur les chiffres correspondant à ces données.

Emploi spécial et propriétés générales de l'abaque à transversales. — On voit, d'après cet exemple, qu'il faut avoir une certaine longueur de projets à faire pour se résoudre à établir des tables gravées. D'un autre côté, le nombre des gabarits pourrait être considérable, dans le cas

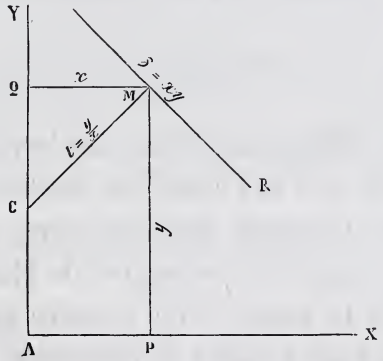


Fig. 4. — Diagramme figuratif des relations fondamentales entre les cotes des quatre cours de ligne de l'*Abaque ou Compteur universel.*

où la nature du terrain motiverait accidentellement des variations dans la longueur de la plate-forme et dans les déclivités des talus, et il ne convient guère de construire et d'imprimer des tables qui ne s'appliqueraient qu'à un trop petit nombre de profils. Pour ces cas particuliers, on pourra

se contenter de l'*Abaque complet* dont on a parlé plus haut et dont la figure 5 est une réduction à très petite échelle. Sur cette figure, en effet, les bords du cadre et les diagonales du carré ont été gradués suivant les logarithmes des nombres qui y sont inscrits. Si donc on considère séparément, comme dans la figure 4, l'*oblique* MR et la *tranversale* MC, on voit que, grâce aux graduations logarithmiques, la cote z de l'oblique qui passe par le point de rencontre M de la *verticale* PM et de l'*horizontale* QM, menées respectivement à des distances de l'origine exprimées par $AP = x$ et $AQ = y$, satisfait numériquement à la relation $z = xy$... (1). On voit aussi que la cote t de la transversale MC, qui passe par le même point M, est liée à x et à y par la relation $t = \frac{x}{y}$, d'où $z = \frac{y^2}{t}$ . . . (2)

Or les aires en déblai ou en remblai sont exprimées par la formule

$$S = \frac{(a \pm y')^2}{2(b \mp x')} - c,$$

dans laquelle x' désigne la déclivité du terrain naturel et y' la cote sur l'axe, a, b et c étant des constantes relatives au gabarit adopté. Il suffira donc de suivre la transversale cotée $2(b \mp x')$ jusqu'à la rencontre de l'horizontale cotée $a \pm y'$, pour lire la valeur z du premier terme de S sur l'oblique passant sur le point de rencontre. Retranchant la constante c, on aura la superficie cherchée S. Dans l'exemple précédemment donné pour le demi-gabarit de $6^m,50$ de largeur, avec une cote en déblai de $1^m,80$ sur l'axe, une déclivité transversale de 0,250 en rampe et un talus réglé à 45°, on trouve que $2(b - x') = 2(1 - 0,250) = 1,5$; et que $6,50 + y' = 8,30$. Suivant donc la transversale 1,5 jusqu'à la rencontre de l'horizontale 8,30, on tombe approximati-

vement sur l'oblique 46; retranchant la constante 20,625, il reste 25,375. Nous avions trouvé précédemment 25, et le résultat exact est 25,30.

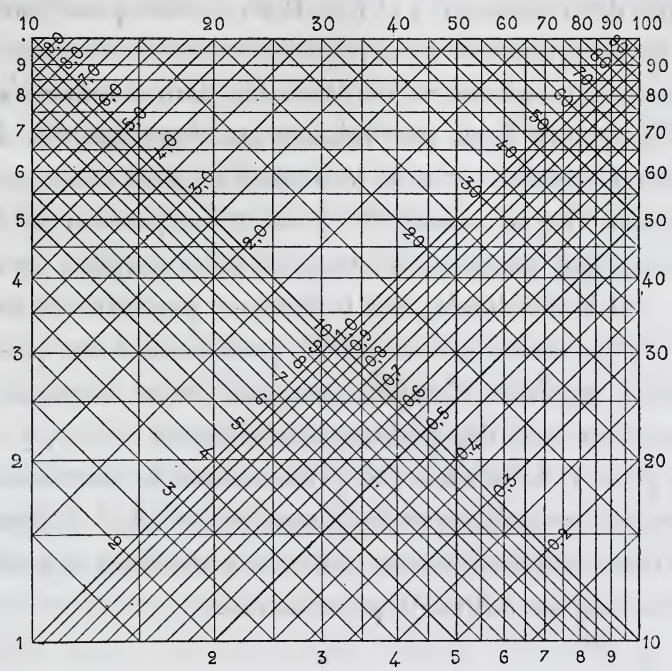


Fig. 5. — *Abaque à transversales* sur lequel on obtient à vue les résultats suivants.

PRODUITS.	QUOTIENTS.	RACINES CARRÉES.
1° $z = xy$; $y = tx$	3° $x = \frac{z}{y}$; $t = \frac{y}{x}$	6° $y = \sqrt{zt}$
2° $z = tx$	4° $z = \frac{y^2}{t}$	7° $x = \sqrt{\frac{z}{t}}$
	5° $t = \frac{z}{x^2}$	

N. B. — Conformément aux indications de la figure 4, les x se lisent sur les horizontales, les y sur les verticales, les z sur les obliques et les t sur les transversales.

L'Abaque à transversales est donc applicable aux calculs des profils à gabarit exceptionnel. Pour prendre une idée

plus complète des propriétés de cette singulière figure, il suffit de chercher les valeurs de deux quelconques des quatre quantités x, y, z, t, en fonction des deux autres, au moyen des relations (1) et (2). Il en résulte pour chacune des quatre quantités trois expressions différentes qui correspondent à sept opérations distinctes, dont chacune n'exige que la lecture d'une cote relative aux deux données de la question, savoir : 1° et 2° le produit de deux facteurs dont l'un peut être un carré; 3°, 4° et 5° le quotient de deux nombres qui peuvent être tous les deux simples, ou dont l'un, soit le dividende, soit le diviseur, peut être un carré; 6° et 7° la racine carrée soit du produit, soit du quotient de deux nombres. L'emploi simultané de ces données fondamentales avec des transversales inclinées à $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$... de base pour 1 de hauteur, et qui servent à la détermination de puissances entières et fractionnaires, conduit d'ailleurs à une foule de combinaisons, les unes utiles dans la pratique des calculs, les autres de pure curiosité.

Différents usages et modèles de l'abaque. — « M. L. Lalanne, a dit Cauchy dans son rapport lu à l'Académie le 11 septembre 1843, a construit un abaque qui sert à résoudre avec une grande facilité les diverses opérations de l'arithmétique, même l'élévation d'un nombre à une puissance fractionnaire. L'abaque de M. Lalanne fournit généralement deux ou trois chiffres de chacun des nombres que l'on se propose de calculer[1]. »

[1] L'abaque a été recommandé, depuis lors, par la Société pour l'instruction élémentaire (séance du 1er avril 1846), par la Société d'encouragement, qui lui a décerné une médaille de platine (*Bulletin*, t. XLV, p. 658); autorisé

Depuis l'époque où le premier modèle d'abaque, encore manuscrit, avait été signalé ainsi par la commission académique, des applications spéciales en ont été faites, des modèles nouveaux ont été établis. Dès 1847, M. Alcan, l'habile professeur du Conservatoire, joignait à son *Traité des matières textiles* un abaque adapté aux calculs que comporte la transformation du titrage ancien et du titrage anglais en titrage métrique. L'*Abaque des équivalents chimiques*, publié en 1846, avec une instruction détaillée, est une des nombreuses applications qu'on peut faire de l'abaque primitif (2e édit. 1851).

L'Abaque à transversales (fig. 5), dont on a indiqué l'application aux calculs des superficies de déblai et de remblai, peut être considéré comme le type d'une série nouvelle d'abaques spéciaux, où l'on combinerait entre elles des puissances de différents degrés au moyen de plusieurs séries de droites parallèles entre elles, et séparées par des intervalles logarithmiques.

Nous avons précédemment montré d'ailleurs que la suite des hyperboles équilatères représentées par l'équation $xy = z$ peut être anamorphosée à volonté soit en lignes droites inclinées à 45° sur les axes, soit en circonférences concentriques; la graduation des coordonnées, dans ce dernier cas, se faisant suivant les racines carrées des valeurs logarithmiques de la graduation dans le cas précédent.

par le conseil de l'Université (14 janvier et 4 avril 1848) pour les écoles primaires de différents degrés; recommandé par le Ministre de l'intérieur aux préfets pour le service des agents voyers (circulaire n° 5, 28 janvier 1847); adressé par le Ministre des travaux publics à tous les ingénieurs des Ponts et Chaussées et des Mines (circulaire n° 1, 24 mars 1847). Un abaque mural de grandes dimensions a été établi pour l'enseignement dans les écoles,

Application de l'anamorphose à des lois dont l'expression mathématique n'est pas connue. — Le principe de la graduation des coordonnées peut être appliqué lors même qu'on ne connaît pas explicitement la loi mathématique suivant laquelle on l'opère; il suffit que l'on en possède des termes numériques suffisamment rapprochés. C'est ainsi que, sans avoir déterminé la forme de la fonction $x=f(a)$, qui exprime le nombre d'individus dont l'âge est tout au plus égal à un nombre d'années a, dans une population limitée, dès qu'on connaîtra le nombre correspondant à chaque valeur de a, on pourra construire un tableau composé de lignes droites qui donnera, à vue, le nombre total des individus compris entre deux âges déterminés, a et a'. En effet, le nombre de ceux dont l'âge est tout au plus égal à a' sera exprimé par $y=f(a')$, et le nombre de ceux dont l'âge est compris entre a et a' est donné par $z=y-x$. Cette dernière équation représente une suite de droites parallèles correspondant aux valeurs successives de z, pourvu que les axes des x et des y aient été gradués, non pas en parties égales, mais suivant les valeurs numériques successives correspondant aux différents âges de la fonction $f(a)$, dont la forme est inconnue.

La figure 6 a été construite d'après ces principes. Les recherches de Demonferrand lui ont permis de classer par âge la population d'environ 33 millions d'âmes qui existait en France il y a quarante-cinq ans (*Journal de l'École polytechnique*, 26e cahier). Il nous a été facile d'en déduire la répartition, par âge, d'une population d'un million d'habitants du sexe masculin. Les deux côtés du triangle rectangle de la figure ont été gradués suivant les longueurs propor-

tionnelles aux nombres d'individus de chaque âge, et les parallèles à l'hypoténuse ont été tracées équidistantes et cotées de 1 à 10, chacune d'elles correspondant à un nombre de centaines de milliers d'âmes indiqué par le chiffre. Pour savoir, d'après la figure, le nombre d'hommes compris entre 20 et 40 ans, limites extrêmes du service

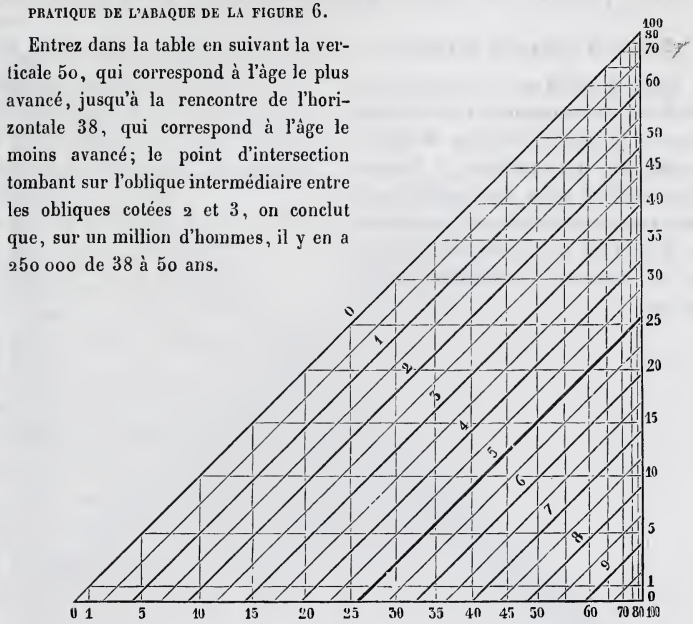


Fig. 6. — Abaque pour calculer à vue la répartition de la population masculine suivant les âges.

militaire, on suivra la limite cotée 40 jusqu'à la rencontre de l'horizontale cotée 20. La rencontre ayant lieu à peu près sur l'oblique cotée 3, on conclut que, sur un million d'habitants mâles, il y en a 300 000 compris entre 20 et 40 ans; et que, par conséquent, sur les 36 millions d'âmes que donne le dernier recensement, les deux sexes étant à peu

près égaux en nombre, il y a environ 5 400 000 hommes appelés à prendre part simultanément au service militaire.

De l'anamorphose double. — Les figures 7, 7 *bis* et 7 *ter* font toutes les trois connaître, sous des formes différentes, les probabilités de vie que l'on a, à chaque âge, de vivre jusqu'à un autre âge déterminé; leur comparaison

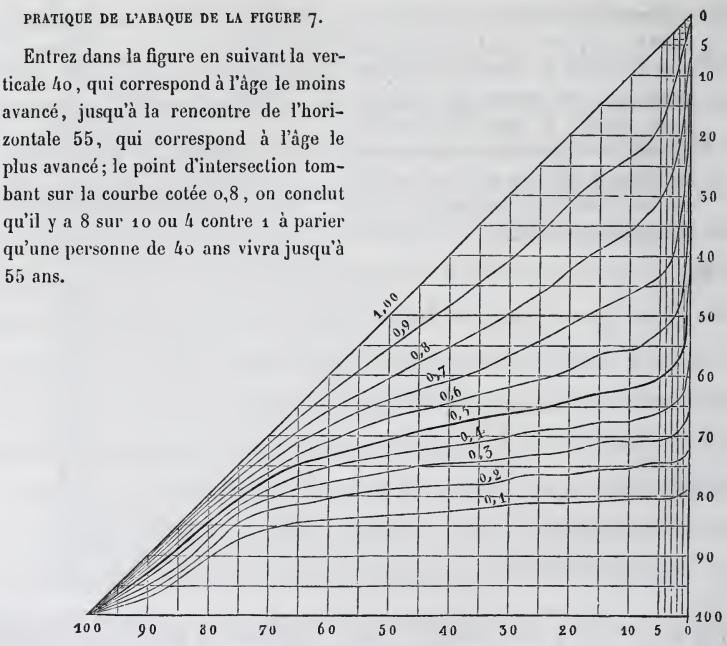


Fig. 7. — Abaque (sans anamorphose) faisant connaître les probabilités de vie à chaque âge pour la moyenne de la France entière (sexes réunis).

offre un certain intérêt au point de vue de la nature et de la diversité des effets de l'anamorphose. Il s'agit encore ici d'une loi naturelle dont on ne possède pas l'expression mathématique, mais dont les termes numériques sont connus, en admettant la loi de mortalité proposée par Demonferrand

pour la France entière, les deux sexes réunis. Les courbes de la figure 7 indiquent, par leurs cotes, pour chacun des points de l'intérieur du triangle, dont les coordonnées correspondent à deux âges déterminés, la probabilité qu'il y a pour la masse des individus de l'âge a d'atteindre l'âge a'.

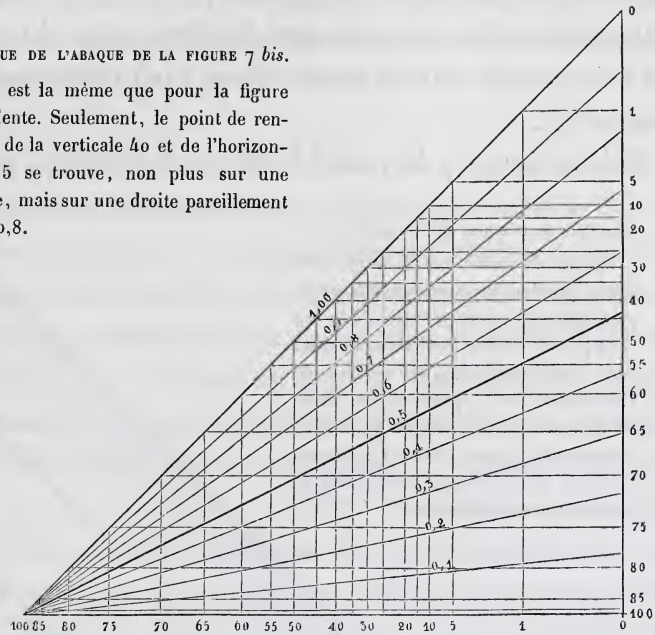


Fig. 7 *bis*. — Abaque de la figure 7 après une anamorphose simple.

La figure 7 *bis* est l'*anamorphose simple* de la figure 7, déterminée par une considération analogue à celle qui a servi à construire la figure 6. En effet, si l'on connaît les nombres x et y d'individus respectivement âgés de a et de a' années qui survivent sur 10 000 nés le même jour, la probabilité z d'atteindre l'âge a' sera, pour ceux qui ont l'âge a, exprimée par la fraction $\frac{x}{y}$. Cette probabilité variable sera

représentée graphiquement par le faisceau des droites divergentes dont l'équation est

$$(3) \qquad \frac{x}{y} = z,$$

lorsqu'on donne successivement à z les valeurs croissantes, par exemple de dixième en dixième, depuis 0,1 jusqu'à 1. Cette construction suppose que les deux côtés du triangle ont été gradués suivant les nombres $f(a)$ correspondant à chaque âge.

Mais la figure 7 *bis*, aussi bien que la figure 7, présente

PRATIQUE DE L'ABAQUE DE LA FIGURE 7 *ter*.

Elle est la même que pour les deux figures précédentes et conduit à la même probabilité 0,8 qu'une personne de 40 ans vivra jusqu'à 55 ans. Seulement on entre par la verticale 55 jusqu'à la rencontre de l'horizontale 40. La partie la plus claire de la figure 7 *ter* correspond à la moins distincte de la figure 7 *bis*, et réciproquement, de sorte que ces deux figures se suppléent avantageusement.

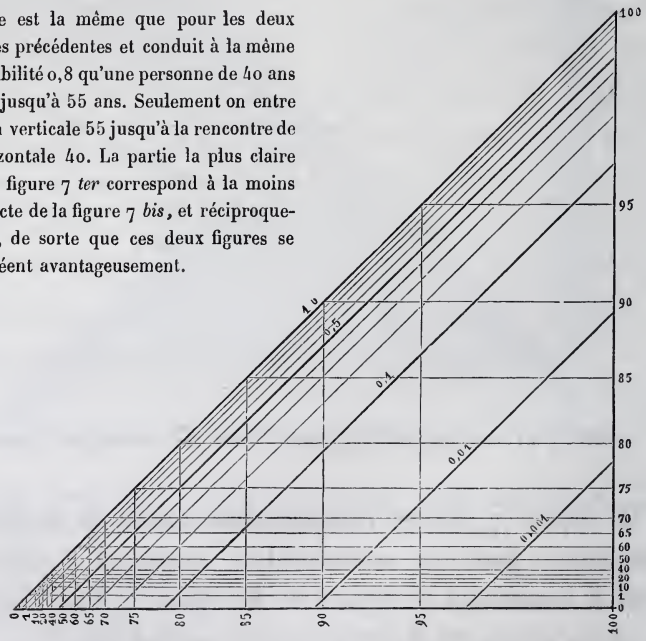


Fig. 7 *ter*. — Abaque de la figure 7 *bis* après une anamorphose logarithmique.

une véritable confusion lorsqu'il s'agit de recherches relatives aux âges avancés, et il était désirable de la transformer

de manière à éviter cet inconvénient. C'est le but que l'on a atteint en construisant la figure 7 *ter*, qui est l'anamorphose logarithmique de la figure 7 *bis*, et qu'on peut ainsi considérer comme dérivée de la figure 7 par une double anamorphose, quoiqu'on puisse l'obtenir directement. En effet, de l'équation (3) on tire, en désignant par des lettres avec des accents les logarithmes des quantités désignées par les mêmes lettres :

$$(4) \qquad y = x' + z'.$$

Or, cette deuxième équation représente une suite de droites, non plus partant de l'origine, mais parallèles entre elles, inclinées à 45° sur les axes des coordonnées, et séparées les unes des autres par les intervalles proportionnels aux logarithmes des nombres de 1 à 10. Les côtés du triangle sont gradués suivant les nombres proportionnels, non plus aux chiffres des individus survivants de chaque âge, mais aux logarithmes de ces chiffres. Au surplus, la figure 7 *ter* présente, pour le premier âge, un inconvénient analogue à celui que nous voyons se produire pour les dernières années de la vie dans la figure 7 *bis*. Avec une quelconque des trois dernières figures, pour évaluer la probabilité qu'une personne de 25 ans a de vivre jusqu'à l'âge de 65, il faut chercher le point dont les coordonnées sont 25 et 65 ; ce point tombe à peu près sur la courbe ou l'oblique cotée 0,5. En d'autres termes, la moitié seulement des individus âgés de 25 ans atteindra 65 ans.

Quelques exemples de l'application de la notation des plans cotés. — La publicité donnée aux nou-

velles méthodes en a multiplié les applications, quoiqu'on n'en ait assurément pas encore tiré tout le parti qu'il est permis d'en attendre. Parmi les applications qui ne comportent pas d'anamorphose, nous citerons d'abord celles que l'observatoire de l'infant D. Luiz, à Lisbonne, a exposées au Congrès géographique international en 1875 pour figurer les variations, suivant les heures et les saisons, de la température, de la pression atmosphérique, de l'humidité, de la vitesse du vent, du magnétisme terrestre, d'après le système de la figure 3. On nous permettra encore de rappeler que la notation de la *rose des vents* tracée à l'aide de longueurs proportionnelles à la durée des vents qui soufflent dans les différents rhumbs, et qui figure aujourd'hui sur une foule de plans météorologiques et hydrographiques, dans les projets relatifs aux ouvrages maritimes, etc., a été appliquée pour la première fois à la *rose thermométrique* ou *barométrique* dans l'Appendice à la traduction de la Météorologie de Kaemtz déjà citée (fig. 17 et 31 *bis* de cet appendice). L'original allemand emploie une notation beaucoup moins expressive, due au météorologiste Mahlmann (*Abriss einer Geschichte der neueren Fortschritte der Meteorologie,* Berlin, 1836).

Ajoutons que les abaques rectilignes employés par M. Plassiard pour exprimer les relations qui existent entre le son rendu par une corde vibrante, le poids de l'unité de longueur de cette corde et la tension à laquelle on la soumet (*Congrès de Lille,* p. 192 et pl. II); que les abaques pareillement rectilignes par lesquels M. Thoyot a déterminé le nombre minimum des freins qu'il convient de placer dans un train de chemin de fer, étant donnés le nombre des

wagons et la vitesse de marche (Ann. des Ponts et Chaussées, 2e sem. 1874), sont des applications de la notation des plans cotés, sans anamorphose.

L'auteur de cette notice avait, dès le 17 février 1845, soumis à l'Académie des sciences l'idée d'une carte sur laquelle on exprimerait la répartition de la population par des *courbes d'égale population spécifique* cotées (Comptes rendus, t. XX, p. 438), les cotes indiquant le nombre d'habitants par kilomètre carré sur toute l'étendue des lignes auxquelles elles s'appliquent. « Semblable à un plan topographique, disait-il, cette carte présenterait des ondulations, des sommets escarpés, des cratères, des cols, des vallées... » Vingt-huit ans plus tard, M. l'ingénieur Vauthier, réalisant cette idée de la manière la plus heureuse, présentait à l'Académie, le 26 janvier 1874, la carte des courbes d'égale population spécifique dans l'étendue de la ville de Paris, et il observait les analogies qu'elle offre avec une carte topographique. « On y voit, dit-il, des sommets où la population est considérable; des bas-fonds ou des plaines où elle est faible; des vallées y creusent leurs thalwegs; des promontoires s'y manifestent avec leurs lignes de faîte, etc. » L'expérience faite par un savant et laborieux ingénieur est donc venue confirmer, de la manière la plus complète et presque mot pour mot, les prévisions exprimées près de vingt-neuf ans auparavant [1].

Le mouvement des marées est un des phénomènes auxquels on peut appliquer avec le même succès la notation

[1] Dans sa *Notice explicative sur les cartes statistiques à relief* (Chaix et Cie, mai 1878, in-8°), M. Vauthier a bien voulu reconnaître notre priorité, avec toute la loyauté qui est dans son caractère.

des plans cotés. L'observation directe donne, pour chacun des jours de l'année et pour chacune des heures du jour, la hauteur à laquelle l'eau s'est élevée en un point déterminé du littoral. On s'est contenté jusqu'à présent de figurer les résultats des observations pour chaque jour, en élevant sur des abscisses équidistantes, correspondant aux heures, des ordonnées proportionnelles aux variations de niveau observées, et en joignant ensuite par un trait continu les extrémités de toutes ces ordonnées. Cette manière d'opérer est d'autant plus naturelle que c'est elle qui se prête le mieux à l'enregistrement mécanique réalisé par le marégraphe de Chazallon. Cependant elle ne donne pas de vues d'ensemble, à moins que l'on n'en tire, par une disposition semblable à celle de notre figure 3, un plan à lignes de niveau cotées, en prenant pour abscisses les heures du jour, pour ordonnées les jours du mois, et sur lequel on projette les courbes qui joignent d'une manière continue tous les points correspondant aux instants précis d'égale hauteur de marée. Cette disposition, réalisée dès 1845 à l'aide des courbes sinusoïdales de marée résultant d'observations faites à la tour de Cordouan, a été, sur notre indication, appliquée de nouveau par M. l'ingénieur Fénoux à la représentation du port de Brest et publiée dans le 2e semestre des *Annales des Ponts et Chaussées* de 1869 (p. 170 et pl. CCI)[1]. M. l'ingénieur Quinette de Rochemont vient pareillement, sur la demande qui lui en a été faite, de s'en

[1] C'est par erreur que, sur la planche CCI du volume cité des *Annales*, le graveur a qualifié d'*anamorphique* une représentation conventionnelle, il est vrai, mais qui, n'employant que des coordonnées à graduations égales, n'a pu donner lieu à aucune anamorphose.

servir pour exprimer la loi du mouvement des marées, pendant le mois de septembre 1877, au port du Havre. La figure 8 est une réduction de l'épure dressée par M. Quinette de Rochemont. L'inspection seule en fait ressortir les avantages. Non seulement on y lit, d'un coup d'œil, la hauteur de la mer pour un jour et une heure déterminés, mais

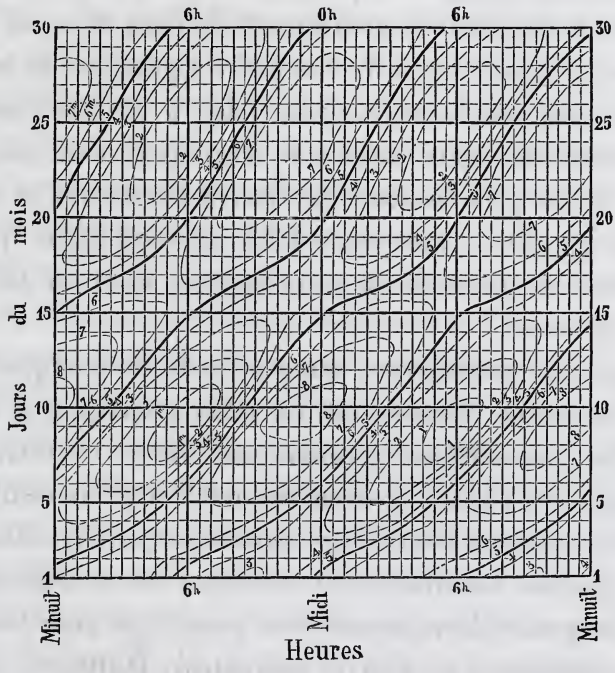


Fig. 8. — Expression graphique du mouvement des marées au port du Havre pendant le mois de septembre 1877.

encore on en déduit facilement les intervalles de temps entre lesquels un navire sera certain de trouver la profondeur de mouillage qui lui est nécessaire, la proportion relative de ces intervalles par mois, etc.

Exemples d'anamorphoses résultant de l'emploi de coordonnées graduées. — Le deuxième volume du *Recueil de tables à l'usage des ingénieurs*, publié à la fin de 1845 par M. l'ingénieur en chef Cousinery, comme suite au Recueil de Génieys, renferme (p. 262) une table graphique qui est l'expression synoptique de l'ensemble des combinaisons auxquelles peut donner lieu la formule établie par Prony pour le mouvement de l'eau dans un tuyau de conduite, au moyen de l'emploi du principe de la graduation des coordonnées. Cette table a été composée de trois cours de lignes droites et d'un quatrième cours de lignes à peu près droites. On trouve aussi dans le même volume (p. 300) une autre table anamorphique qui fait connaître les produits de deux facteurs dont un doit être élevé au carré.

Dans cette publication, qui a précédé de quelques mois celle de notre *Mémoire sur les tables graphiques et sur la géométrie anamorphique* (Annales des Ponts et Chaussées, 1er semestre, 1846), l'auteur reconnaît explicitement qu'il nous a emprunté l'idée de la transformation logarithmique qui a permis l'anamorphose rectiligne des courbes qu'aurait comportée la représentation graphiqne avec coordonnées ordinaires (p. 259 et suivantes). D'ailleurs, dès le 11 septembre 1843, le rapport fait à l'Académie des sciences par M. Cauchy avait donné au principe de la graduation des coordonnées une publicité qui en permettait l'application à qui voulait la faire.

Plus tard, dans son beau Cours de mécanique appliquée aux constructions, M. l'ingénieur en chef Ed. Collignon a pareillement exprimé par des tableaux anamorphiques les

lois de l'écoulement dans les tuyaux neufs à parois lisses, d'après les formules que M. Darcy a tirées de l'expérience, et les lois du mouvement uniforme de l'eau dans les tuyaux découverts, d'après M. Bazin (*Hydraulique*, 1870, p. 190 et 253).

D'autres applications de l'anamorphose ont encore été faites : pour le calcul des intérêts composés suivant différents taux, dans les *Tableaux sur les questions d'intérêt et d'assurances*, de M. Eugène Pereire; pour l'expression de la résistance à la rupture par flexion des fers spéciaux à double T, de dimensions variées, par M. Louvel, dans le *Portefeuille du conducteur des Ponts et Chaussées* (4e série, nos 6 et 7); pour la correction des erreurs résultant de l'emploi d'un instrument propre à la mesure approximative des distances, dans le *Mémorial de l'officier du génie* (n° 18, 1868), par M. le commandant Goulier; pour l'établissement d'un *abaque des portées* des feux destinés à l'éclairage des côtes, par M. E. Allard, aujourd'hui inspecteur général des Ponts et Chaussées (*Mémoire sur l'intensité et la portée des phares*, 1876, p. 77); pour l'expression graphique de la formule des lentilles, par M. l'ingénieur Gariel qui, à l'aide d'un ingénieux emploi de la perspective, a su améliorer un abaque anamorphique obtenu d'abord à l'aide de coordonnées graduées (*Congrès de Clermond-Ferrand*, 1876).

Le n° 21 du *Mémorial de l'officier du génie* (Paris, 1873) ne renferme pas moins de neuf planches consacrées à des *abaques* qui donnent les résultats des calculs relatifs aux effets des fourneaux de mine. Parmi ces abaques, il en est qui sont construits avec des coordonnées cartésiennes; mais pour d'autres, on a fait usage des coordonnées graduées,

et l'on y emploie des circonférences en remplacement d'ellipses. Les auteurs de ces mémoires sont MM. le chef de bataillon Guillemot, qui a rédigé son travail en 1853, n'étant encore que lieutenant; le capitaine Ricour, décédé commandant du génie, à Gorée, en janvier 1868, qui a fourni un travail graphique beaucoup plus complet; le capitaine Delambre, qui a complété aussi la solution du commandant Guillemot.

Résolution graphique des équations numériques d'un degré quelconque. — On sait à quelles nombreuses et savantes recherches a donné lieu la résolution des équations numériques. Les efforts des géomètres ont été couronnés de succès, en ce sens qu'on possède aujourd'hui des méthodes d'une exactitude rigoureuse pour la séparation des racines et pour le calcul numérique de chacune d'elles. Mais, dès que le degré de l'équation devient supérieur au troisième et surtout au quatrième, on court le risque de tomber sur des opérations tellement laborieuses qu'on préfère habituellement employer des tâtonnements, des moyens empiriques, variables avec chacun des cas particuliers dont on s'occupe. Cependant une foule de questions relatives à l'art de l'ingénieur comportent la résolution d'équations d'un degré supérieur au second. Il était donc à désirer, au moins dans un intérêt technique, qu'une méthode générale facilement applicable vînt en aide aux enseignements que donnent des théories d'une suprême élégance, mais qui ne satisfont pas suffisamment aux exigences de la pratique. Tel est le but qu'on s'est proposé d'atteindre au moyen de la méthode graphique dont on va chercher à donner une

idée. Soit une équation algébrique de degré n à une seule inconnue :

$$z^n + az^{n-1} + bz^{n-2} + \ldots + rz^2 + sz + t = 0.$$

Supposons que deux des coefficients numériques, les deux derniers par exemple, soient variables, et remplaçons s par x, t par y, nous pourrons écrire l'équation sous la forme

$$y = -zx - (rz^2 + \ldots + bz^{n-2} + az^{n-1} + z^n).$$

Or cette équation du premier degré en x et en y représente une ligne droite pour une valeur déterminée de z. Donnons à z des valeurs numériques successives, tant positives que négatives, $\pm(1, 2, 3, 4 \ldots)$, ou bien encore

$$\pm(0,1,\ 0,2,\ 0,3,\ 0,4 \ldots\ldots);$$

traçons sur un plan les droites correspondantes en les cotant suivant les valeurs de z; nous aurons une table graphique qui fera connaître approximativement les valeurs de z correspondant au point du plan dont les coordonnées sont $x = s$ et $y = t$, et par conséquent les valeurs des racines de l'équation proposée, quel que soit son degré.

Soit, par exemple, une équation du troisième degré dépouillée de son deuxième terme, savoir : $z^3 + pz + q = 0$; construisons successivement toutes les droites dont les équations sont :

$$\begin{array}{lcl} y = -0,1x - 0,001 & & y = 0,1x + 0,001 \\ y = -0,2x - 0,008 & \text{et} & y = 0,2x + 0,008 \\ y = -0,3x - 0,027 & & y = 0,3x + 0,027 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots & & \ldots\ldots\ldots\ldots \end{array}$$

jusqu'à $z = \pm 1,3$, on aura l'abaque représenté dans la figure 9, à l'aide duquel on résoudra approximativement une équation quelconque du troisième degré : car on sait qu'on peut toujours faire disparaître le second terme d'une équation ordonnée suivant les puissances décroissantes de l'inconnue.

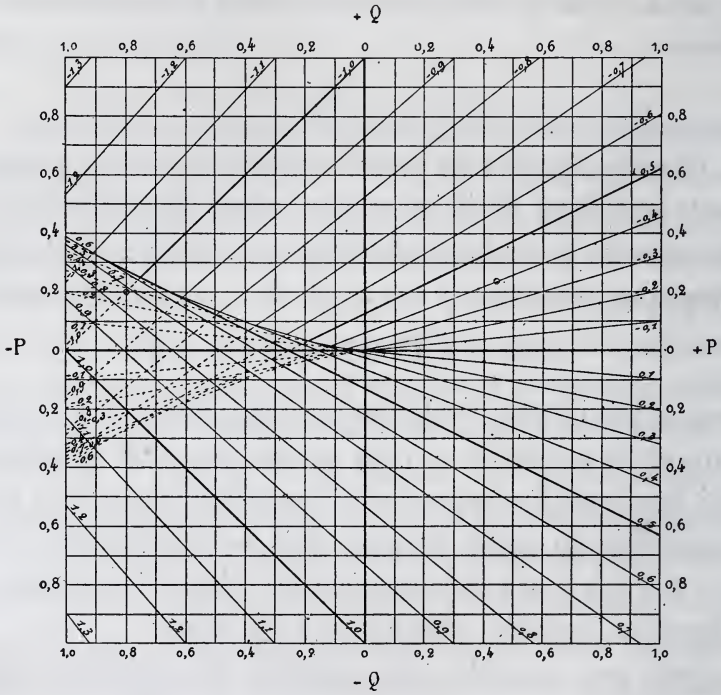


Fig. 9. — Abaque pour la résolution de l'équation du troisième degré.

Si l'on entre dans cette figure avec l'abscisse $p = 0,8$ et l'ordonnée $q = -0,9$, on tombe dans le carré des $+p$ et $-q$ sur un point que traverse l'oblique $z = 0,7$. On en conclut que l'équation $z^3 + 0,8z - 0,9 = 0$ n'a qu'une seule racine réelle, qui est environ 0,7. En effet, la substitution de

0,7 dans le premier membre donne un reste qui n'est que de 0,003, correspondant à une approximation de $\frac{1}{283}$.

De même, étant donnée l'équation $z^3 - 0,4z + 0,6 = 0$, si l'on entre dans le carré des $-p$ et $+q$ par l'abscisse $p = -0,4$, et par l'ordonnée $q = +0,6$, on tombe sur l'oblique $z = -1,0$; c'est la valeur exacte de la racine unique de l'équation.

Enfin, pour l'équation $z^3 - 0,845\,z + 0,165 = 0$, on trouverait, vers la partie inférieure et à gauche du carré des $-p$ et $+q$, que trois obliques passent par le point correspondant à $p = -0,845$ et à $q = +0,165$, et que ces obliques sont cotées $+0,8$, $-1,0$ et $+0,2$. En effet, ces trois valeurs de z, substituées dans le premier membre de la proposée, le réduisent respectivement à $+0,001$, à $+0,01$ et à $+0,004$, avec une approximation qui est de $\frac{1}{500}$ pour la première, de $\frac{1}{100}$ pour la seconde, de $\frac{1}{500}$ pour la troisième.

La région qui, dans la figure 9, correspond aux cas où les trois racines sont réelles, se distingue facilement de celle qui correspond aux cas où il n'y en a qu'une seule. Tandis que, dans cette dernière région, on ne voit qu'un seul faisceau d'obliques, il y en a trois qui s'entre-croisent dans la première, et elles sont séparées l'une de l'autre par une courbe en forme d'entonnoir, à laquelle toutes les obliques sont tangentes et qui est, par conséquent, l'*enveloppe* de toutes les droites correspondant aux différentes valeurs de z[1].

[1] La figure 1 de la planche XCIX du premier semestre des *Mémoires et documents des Annales des Ponts et Chausées* de 1846, et dont notre figure 9 est une réduction, se trouve entachée d'une erreur qui consiste en ce que les

Une courbe analogue, mais dont la figure devient moins

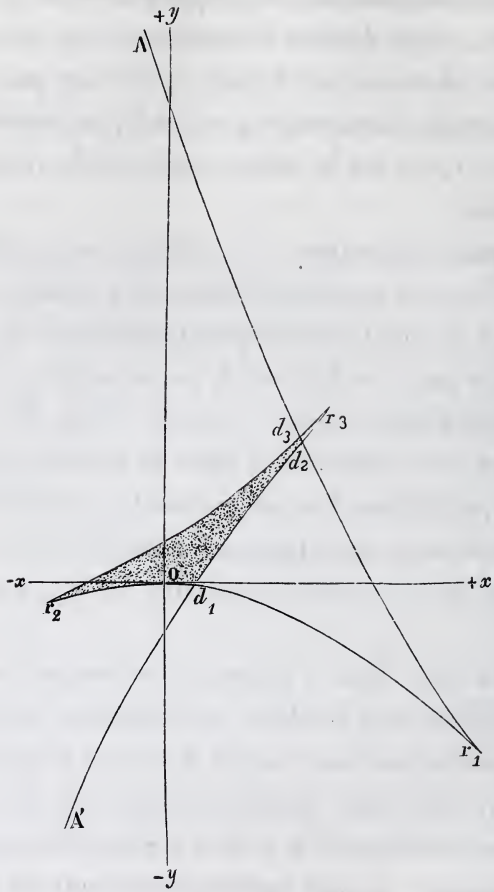


Fig. 10. — Esquisse de la *solutive* pour un cas du cinquième degré.

six obliques cotées ± 1, 1, ± 1, 2, ± 1, 3, aboutissent sur le bord à gauche du cadre de la figure beaucoup trop près de l'axe des p. Le dessinateur avait donné des valeurs dix fois trop petites aux distances auxquelles les obliques rencontrent ce bord, au-dessus de l'axe des p. Les valeurs vraies sont respectivement égales à ∓ 0,231, ∓ 0,528, ∓ 0,897. Cette erreur n'existe pas sur la figure 9 qui précède.

simple à mesure que le degré de l'équation augmente, séparera toujours ainsi, sur le plan de l'épure, les régions correspondant aux divers nombres de racines réelles. C'est ainsi que la construction de l'ensemble des droites représentées par l'équation

$$y = zx + 0,152^2 - 0,95z^3 + z^5,$$

lorsque l'on y fait varier z de dixième en dixième d'unité de zéro à $\pm 1,0$, donnera lieu à un contour polygonal tangent à une courbe dont la figure 10 accuse les caractères principaux.

Dans la partie centrale teintée $d_1 r_2 r_3 d_3 d_2$, il n'y a pas moins de cinq cours de droites qui s'entre-croisent; il y en a trois dans toute la région à gauche du contour $Ar_1 d_1 A'$, ainsi que dans le triangle curviligne $r_3 d_2 d_3$ qui sort à droite de l'arc Ar_1; il n'y en a plus qu'un dans la partie à droite de ce même contour. En faisant $x = 0,234$ et $y = 0,067$, on aura un point qui tombera dans la partie teintée à l'intérieur de l'angle $+y\,ox$; l'équation

$$z^5 - 0,95z^3 + 0,15z^2 + 0,234z - 0,067 = 0$$

a donc cinq racines réelles. En effet, on trouve, en agrandissant convenablement la partie centrale de la figure, trois racines positives, 0,4, 0,5, 0,6; et deux négatives, $-0,7$, $-0,8$.

Dans les constructions graphiques relatives aux équations de degré pair, il y a des espaces absolument dénués de droites et dont chaque point est déterminé par un système de valeurs de x et de y auquel correspondent des racines imaginaires dans la proposée en z.

Cet exposé élémentaire suffit pour faire voir que le nouveau procédé peut être pratiqué par quiconque sait construire une ligne droite déterminée par son équation[1]. Alors même que l'opérateur n'a aucune idée ni des propriétés générales des équations, ni de la valeur, ni même de la réalité des racines, par la vertu seule de la construction de ces droites successives, les faisceaux qui répondent à des racines différentes se séparent spontanément, automatiquement pour ainsi dire, se distinguent les uns des autres au moyen des cotes qui y marquent les valeurs correspondantes de z et conduisent aux valeurs approchées des racines, par de simples lectures.

Origines de ce procédé nouveau et principes de géométrie et d'analyse qui s'y rattachent. — Il est facile, d'ailleurs, de rattacher cette application nouvelle des méthodes graphiques à l'ordre d'idées dont on a exposé précédemment l'origine et la succession.

Au nombre des lois à trois variables dont il était naturel de s'occuper au moment où l'on cherchait à exprimer graphiquement toutes les lois de ce genre, se trouvait l'équation du troisième degré privée du second terme $z^3 + pz + q = 0$, dans laquelle les coefficients p et q sont considérés comme des variables indépendantes. Aussi cette application fut-elle comprise dans le mémoire de 1843 et spécialement mentionnée par le rapport de Cauchy, qui étendit la solution à une classe nombreuse d'équations trinomes à trois variables.

[1] C'est sans doute à cette simplicité de la méthode et à son caractère pratique qu'elle doit l'honneur de figurer aujourd'hui dans un livre d'enseignement, les *Leçons d'algèbre* de Lefébure de Fourcy (Gauthier-Villars, 1880).

L'extension générale aux équations de degré supérieur d'un mode de construction si facilement applicable au troisième se présentait naturellement à l'esprit, et des épures étaient depuis longtemps établies pour un cas du cinquième degré, lorsque les encouragements de quelques juges bienveillants décidèrent la présentation à l'Académie des sciences des mémoires où cette idée est développée (13 et 20 décembre 1875, et 26 juin 1876). Si le procédé en lui-même est, comme on vient de le voir, facile pour des personnes très peu versées dans les mathématiques, il ne s'en rattache pas moins à des considérations de géométrie et d'analyse d'autant plus intéressantes qu'il établit entre elles une connexion inaperçue jusqu'à ce jour.

Ainsi l'équation proposée, étant à trois variables et linéaire en x et en y, représente, dans l'espace, ce que M. de la Gournerie appelle un *conoïde général*, c'est-à-dire une surface gauche à plan directeur, qui est ici le plan horizontal des xy. Toutes les lignes de niveau horizontales sont projetées en grandeur et en direction sur ce plan, suivant les lignes droites dont les équations sont données par les valeurs successives de z. Les valeurs de z qui fournissent les racines de l'équation proposée sont les longueurs de la verticale correspondant au point (x, y), comprises entre le plan des xy et les différentes nappes du conoïde que cette verticale peut rencontrer. Il n'est pas besoin, d'ailleurs, de construire ce conoïde en relief, puisque les lignes de niveau tracées sur le plan et cotées permettent toujours d'estimer *à vue* les hauteurs auxquelles la rencontre a lieu. Dans le cas de la figure 9, et dans la région même où il y a trois solutions, des lignes pleines indiquent la nappe que

l'on peut considérer comme visible, en ce qu'aucune autre portion de nappe ne vient s'y superposer; ce qui a lieu pour les valeurs de z comprises entre 0 et $+1,3$ au-dessus, entre 0 et $-1,3$ au-dessous du plan des xy. Mais dans la portion limitée par la courbe en entonnoir, pour toutes les valeurs négatives et même pour les valeurs positives de z, à partir du point de tangence avec la courbe, les droites correspondantes appartiennent à des portions de nappe cachées, et sont, par application d'une notation connue, indiquées par des traits pointillés.

Cette courbe à laquelle sont tangentes toutes les lignes de la figure, et dont la figure 10 représente l'aspect pour une équation particulière du cinquième degré, est la projection de tous les points de tangence des éléments rectilignes horizontaux avec la surface du conoïde. Or la suite de ces points de tangence est le lieu des extrémités des droites qui mesurent la plus courte distance entre deux de ces éléments consécutifs, lieu géométrique remarquable signalé par Monge, qui lui a donné le nom de *ligne de striction*, et dont M. Chasles aussi s'est occupé (*Correspondance de Quetelet*, t. XI). Nous avons proposé pour cette courbe enveloppe, qui joue sur l'épure un rôle si remarquable dans la séparation automatique des racines, le nom de *solutive*, à raison de ce rôle même. La solutive est la projection de la ligne de striction; elle est le *contour apparent* du conoïde vu d'un point situé à l'infini au-dessus du plan des xy.

Ces propriétés géométriques générales résultent de la construction même; elles sont d'ordre purement intuitif. Des considérations analytiques très simples ont conduit à en découvrir de nouvelles.

On sait d'abord que l'équation d'une courbe enveloppe s'obtient en éliminant le paramètre variable z entre l'équation $f(x, y, z) = 0$ qui le renferme et la dérivée de cette équation par rapport à z. C'est ainsi que s'obtient pareillement la solution particulière dont l'intégrale générale est $f(x, y, z)$. La solutive est donc l'expression graphique de cette solution particulière. Son équation est de même degré que la proposée; et la courbe est aussi d'une *classe* égale à ce degré. Car ce que l'on appelle le numéro de la classe est égal au nombre maximum de tangentes qu'on peut mener à une courbe d'un point situé dans son plan; et, d'un autre côté, les cotes des tangentes à la solutive partant d'un point (z, y) de son plan expriment les valeurs d'autant de racines réelles de la proposée, racines dont le nombre est tout au plus égal au degré de celle-ci. Cette égalité remarquable entre le *degré* et la *classe* de la solutive a pour conséquence, d'après les lois de Plücker, l'existence d'un certain nombre de points de rebroussement et de points doubles (Salmon, *Higher plane curves*, Dublin, 1873), dont la figure 10 donne un spécimen pour le cinquième degré.

On sait, d'après la théorie des courbes enveloppes, calculer à priori les coordonnées des points de contact de chacune de leurs tangentes. Ces coordonnées sont ici, l'une et l'autre, de forme rationnelle; et d'après une définition introduite par M. Chasles et généralement adoptée, la solutive qui en est le lieu géométrique est une *courbe unicursale*.

Puisqu'en chacun des points de la solutive deux tangentes consécutives et infiniment voisines viennent se confondre, la proposée en z aura au moins deux racines

égales pour tout système de valeurs de x et de y qui correspond à l'un des points de la courbe. Le procédé graphique met donc en évidence, ce que l'on sait par l'analyse, que, pour trouver les racines égales d'une équation en z, il faut égaler à zéro le résultat de l'élimination de z entre la proposée et sa dérivée prise par rapport à z. On voit de même que la détermination analytique des racines triples qui peuvent exister dans la proposée correspond à la recherche des points de la solutive où trois tangentes infiniment voisines viennent se réunir, c'est-à-dire aux points de rebroussement.

La considération de l'équation aux carrés des différences des racines d'une équation proposée en z conduit à de nouveaux rapprochements. En effet, dans cette équation, le terme tout connu est précisément le résultat de l'élimination de z entre la proposée et sa dérivée. Il est donc évident que la proposée n'aura de racines multiples qu'autant que ce terme sera nul; et l'équation de la solutive est (on l'a vu plus haut) le résultat de cette élimination. D'un autre côté, dans ce terme tout connu, exclusivement composé de termes partiels, entiers et rationnels en fonction des coefficients de la proposée, les deux derniers de ces coefficients, c'est-à-dire x et y, n'entrent qu'au degré n pour x, au degré $n-1$ pour y. Le degré de la solutive ne surpasse donc jamais le degré de la proposée.

Le terme tout connu de l'équation aux carrés des différences est ce que, dans l'algèbre moderne, on appelle le *discriminant* de la proposée. Le discriminant est une des fonctions comprises sous la dénomination générale d'*invariants*.

Il existe une relation générale qui permet de déduire l'expression du discriminant, dans l'équation de degré quel-

conque, de la valeur du discriminant dans l'équation du degré immédiatement inférieur. La nouvelle méthode de résolution des équations numériques met en évidence une relation analogue entre les solutives des équations des degrés successifs. C'est ainsi que la solutive de l'équation du troisième degré $z^3+xz+y=0$, courbe dessinée par les lignes droites de la figure 9 et qui est une parabole demi-cubique représentée par l'équation $4x^3+27y^2=0$, est la développée d'une parabole ordinaire qui est aussi la solutive de l'équation du second degré $z^2+xz+y=0$; seulement la parabole demi-cubique décrite comme développée de la parabole ordinaire qui a pour équation $x^2-4y=0$ a fait un quart de révolution autour de son sommet en tournant de droite à gauche; et elle a été reculée de gauche à droite, jusqu'à l'origine des coordonnées, d'une quantité égale à 2. Cette propriété est générale. Ainsi la développée de la solutive d'une équation de degré quelconque sera la solutive d'une équation du degré immédiatement supérieur, lorsqu'on l'aura fait glisser le long de l'axe des y jusqu'à la rencontre de l'axe des x et qu'on l'aura fait ensuite tourner *sinistrorsum* d'un angle droit. La longueur du glissement est égale à $2m$, m étant le coefficient du terme en z^2 dans la proposée.

La solutive passe donc toujours par l'origine des coordonnées, et elle est tangente en ce point à l'axe des abscisses. Cette propriété résulte, à priori, de la construction même des droites enveloppantes; elle ressort, à posteriori, de la composition du discriminant et de sa dérivée, qui deviennent tous deux nuls quand on fait à la fois $x=0$ et $y=0$.

Il est manifeste, d'ailleurs, que toute équation, même

transcendante, pourvu qu'elle ait au moins deux termes à coefficients numériques, pourra, par un artifice analogue, être approximativement résolue à l'aide d'un abaque à tracés rectilignes; et que, dans certains cas, il y aura convenance à employer des coordonnées à graduations inégales, qui ne sont pas nécessaires pour la résolution des équations purement algébriques.

On connaissait depuis longtemps le rôle important du discriminant dans la recherche des racines; les propriétés de la solutive en offrent, ainsi qu'on vient de l'indiquer, une interprétation géométrique, qui s'étend jusqu'à la liaison entre les solutives comme entre les discriminants des équations de degrés successifs.

Publications spéciales sur les matières qui font l'objet de cette notice. — Dans son Traité de géométrie descriptive, M. de la Gournerie a consacré un chapitre entier à l'exposé des méthodes développées dans le *Mémoire sur les tables graphiques* inséré aux Annales des Ponts et Chaussées de 1846. Ces méthodes, et notamment l'anamorphose, sont actuellement professées à l'École polytechnique (Cours de géométrie descriptive). Elles le sont depuis près de vingt ans à l'École des Ponts et Chaussées (Cours de routes), avec leur application à la rédaction des projets. A l'étranger, M. Antonio Favaro, professeur distingué à l'Université de Padoue, paraît être le premier qui les ait signalées dans ses ouvrages sur le calcul graphique et sur la statique graphique[1]. M. Culmann, l'éminent professeur du

[1] *Sulle prime operazioni del calcolo grafico*, Venezia, 1872; *La statica grafica*, Venezia, 1873.

Polytechnikum de Zurich en a fait un exposé spécial dans le beau livre où il enseigne les principes et les développements d'une science qui lui doit tant; et, comme M. Favaro, il le fait dans des termes qui ne peuvent inspirer qu'un sentiment de reconnaissance à l'auteur qui est l'objet de cet examen bienveillant[1]. L'abaque de la figure 9, pour la résolution générale de l'équation du troisième degré, a attiré son attention d'une manière particulière[2].

La publicité ainsi donnée aux nouvelles méthodes permet d'espérer qu'elles ne tarderont pas à se répandre et à entrer davantage dans la pratique courante. C'est sans doute pour atteindre ce but que M. Gustave Hermann, professeur à l'École polytechnique d'Aix-la-Chapelle, a publié en allemand, sous le titre de *Table de multiplication graphique*, une reproduction pure et simple de l'*Abaque ou Compteur universel*[3]. Un avis placé en tête du texte prétend soumettre à l'autorisation préalable de M. Hermann la publication de toute traduction *en français*, en anglais ou en quelque langue moderne que ce soit. Un autre avis au bas de la planche gravée menace de poursuites les reproductions qui en seraient faites[4].

[1] «Wir glaubten bei der Ausarbeitung graphischer Methoden diesen bedeutenden Aufsatz nicht mit Stillschweigen übergehen zu dürfen» (*Die graphische Statik*, p. 77 et suiv., Zurich, 1875).

[2] «.....sehr schönen Tafel» (*Ibid.*, p. 84).

[3] *Das graphische Einmaleins*, etc. Braunschweig, 1875.

[4] La première édition française de l'*Abaque ou Compteur universel* a paru en 1845; elle a été traduite littéralement, planche et texte, et a paru simultanément en Allemagne sous le titre : *Beschreibung und Gebrauchsanweisung des Abacus oder der allgemeinen Rechnungstafeln*, Leipzig, 1846, Verlag von E. F. Steinacker; en Angleterre, sous le titre : *Explanation and use of the abacus or french universal reckoner*, London, 1846, Joseph Thomas, 1, Finch

C'est apparemment dans une intention aussi louable que M. le docteur Ch.-Auguste Vogler a publié à Berlin, en 1877, sous le titre de *Six tables graphiques pour abréger les calculs*[1], une brochure accompagnée de planches dont la plupart représentent des anamorphoses et dont la première est aussi la reproduction de l'*Abaque*, auquel M. Vogler donne le titre de « Table à calcul logarithmique ».

Dans le traité didactique dont les six tables graphiques sont tirées[2], M. Vogler annonce que, depuis sept ans déjà, il était en possession des méthodes à l'aide desquelles on substitue des constructions graphiques à des tables numériques à double entrée, et même du principe de l'anamorphose géométrique. Bien que convaincu qu'il ne pouvait être le premier auquel cette idée fût venue, il en chercha en vain, à cette époque, des applications dans la littérature technique. Ce fut seulement vers la fin de 1874 que son attention fut attirée par M. Hermann (le même dont il vient d'être question) « sur le système de coordonnées logarithmiques de Lalanne ».

lane, Cornhill. Une réclamation de priorité soumise à l'Académie des sciences (26 novembre 1877, Comptes rendus, t. LXXXV, p. 1012) a été suivie d'une lettre (6 janvier 1878), dans laquelle M. Hermann veut bien annoncer que c'est à raison même de la notoriété que la méthode anamorphique et le nom de son auteur ont acquise en Allemagne, qu'il a cru pouvoir omettre complètement ce nom. Il s'en excuse et exprime à ce sujet ses sincères regrets.

[1] *Sechs graphische Tafeln zum Schnellrechnen und zum Schnellquotiren*, etc. Ernst und Korn, in-8°. M. Vogler a répondu à la réclamation de priorité qui visait aussi cette publication en faisant observer qu'elle est extraite d'un ouvrage plus volumineux dans lequel le nom du promoteur de la méthode anamorphique a été cité plusieurs fois.

[2] *Anleitung zum Entwerfen graphischer Tafeln*, etc. ou Instruction pour la construction des tables graphiques, etc.

« Mais ce qui m'a surtout intéressé, ajoute-t-il, c'est la lecture d'une note de M. Kapteyn[1], dont l'auteur, également sans avoir connaissance des travaux antérieurs, est arrivé, *par la même méthode que moi (sic)*, à remplacer les courbes des tableaux par des lignes droites. » Cette méthode consiste dans l'emploi de coordonnées convenablement graduées.

Il ne semble pas qu'aucun principe nouveau ait été énoncé dans ce livre. Les figures les plus importantes sont la reproduction ou l'imitation de celles qui sont annexées au mémoire inséré dans les *Annales des Ponts et Chaussées* de 1846. Après avoir expliqué la construction et les usages de l'*Abaque* logarithmique décrit et figuré dans ce mémoire, c'est à la publication de M. Hermann que M. Vogler renvoie pour plus amples détails; or M. Hermann avait été le premier « à attirer son attention sur le système de coordonnées logarithmiques de Lalanne » (Préface). On ne peut imputer qu'à une inadvertance du même genre l'assertion qui attribue à M. Helmert[2] le moyen de construire des for-

[1] *Note sur une méthode de graduation* (représentation de courbes par *des lignes droites*), par Alb. Kapteyn, ingénieur à Ede (Gueldre), dans la Revue universelle des mines, etc., livraisons de juillet et août 1876, page 136. Cette note est un exposé du principe de la graduation des coordonnées, avec l'application à l'établissement de quelques tables graphiques anamorphosées en lignes droites, pour résoudre des questions de mécanique industrielle. « Après l'achèvement de cette note, dit l'auteur, j'ai trouvé dans Armengaud quelques tableaux graphiques qui me font supposer que cette méthode *n'est pas entièrement nouvelle (sic)*, comme je le croyais jusqu'ici. Il ne dit cependant pas comment ces tableaux sont obtenus et n'indique pas les principes de la graduation, de sorte que le développement de ma théorie et son application *générale* conservent en tout cas leur valeur. »

[2] *Zeitschr. für Vermessungswesen, 1876, Heft* I. Ce n'est qu'au moment

mules logarithmiques par des cercles; tandis que le mémoire de 1846, dans ses n°s 33 et 34, indique expressément les « anamorphoses successives d'hyperboles en lignes droites, de lignes droites en circonférences... » (Voir p. 363 de la présente notice.) Or M. Vogler connaissait probablement ce mémoire, puisqu'il a bien voulu le citer (p. 45 de son *Anleitung*), en le qualifiant de « Notice assez étendue où l'on trouve plusieurs exemples intéressants, les uns au point de vue théorique, les autres au point de vue de leur application possible. » Le nom de feu Cousinery, si honorablement connu dans l'histoire des méthodes qu'emploie la statique graphique, est encore cité à tort parmi ceux des constructeurs de courbes d'égal élément. On voit bien, en effet, à la page 131 des Tables de Génieys, que deux tables numériques faisant connaître en mesures métriques les épaisseurs à la clef et aux culées pour des voûtes de différentes ouvertures et hauteurs de piédroits, ont été calculées « par la méthode d'interpolation graphique »; mais cette méthode ne suppose nullement la considération du plan

même où notre notice était sous presse qu'il nous a été possible de nous procurer ce fascicule d'un recueil périodique organe de la Société allemande de géométrie et publié à Stuttgard par M. le docteur W. Jordan, professeur à Carlsruhe, avec la collaboration de M. le docteur F. R. Helmert, professeur à Aix-la-Chapelle, et de M. le docteur J. H. Franke, *trigonomètre* à Munich. La note de M. Helmert, intitulée *De l'établissement des tables graphiques à double entrée,* occupe une dizaine de pages et une planche. Elle ne paraît renfermer aucun résultat qui ne se trouve au moins indiqué, ou même explicitement énoncé, dans le mémoire des *Annales* de 1846.

On peut lire dans le même fascicule (p. 48) un article de M. Ch. A. Vogler sur l'Abaque logarithmique publié par M. Hermann, article où rien n'indique qu'il s'agit de la reproduction pure et simple d'une publication faite trente ans auparavant.

topographique à courbes de niveau. Il y a entre l'une et l'autre la différence qui existe entre les sinusoïdes isolées qui expriment la variation de hauteur de l'eau pour chaque jour lunaire, et les courbes du plan coté de la figure 8 (p. 383) qui représentent synoptiquement la loi des marées pendant une lunaison entière.

Enfin, M. Vogler n'a considéré ni le parti que l'on peut tirer des constructions graphiques pour la résolution des équations, ni l'application de l'anamorphose à certaines lois naturelles dont la formule est inconnue et dont on ne possède que des termes numériques.

Malgré ces inexactitudes et ces lacunes, nous trouvons un emprunt à faire au livre de M. Vogler. A la périphrase *lignes d'égal élément*, que nous avions employée jusqu'à ce jour, il substitue l'excellente expression *isoplèthe*[1]. C'est un mot bien composé, à faire passer dans le langage usuel; nous n'hésiterons plus à nous en servir.

Coup d'œil rétrospectif. — Dans l'exposé qui précède aussi bien que dans le mémoire de 1846, nous avons eu à citer beaucoup plus de noms français que de noms étrangers. En effet, après Descartes, à l'idée mère duquel l'illustre Cauchy, dans son rapport de 1843, a bien voulu rattacher la nôtre; après Descartes, c'est à Philippe Buache (1737-1752) et à Ducarla (1802), pour l'idée des courbes de niveau et l'emploi de ces courbes sur un plan qui les reproduit, à l'échelle qu'on veut, dans leurs positions relatives, sans aucune déformation; c'est à Pouchet, pour son *Arithmétique linéaire* (1795) avec hyperboles d'égale puis-

[1] ἴσος, égal; et πλῆθος, valeur, quantité.

sance; c'est à Terquem[1] (1830), pour la liaison qu'il a dogmatiquement établie entre les tables numériques à double entrée, du genre de celle de Pouchet, et la représentation des surfaces sur un plan; c'est à tous ces hommes, d'inégal mérite assurément, mais qui tous ont laissé dans cette voie une trace durable, qu'il faut attribuer les progrès successifs d'une idée qui paraît aujourd'hui complètement entrée dans le domaine de la pratique.

Ce qui n'est pas moins digne d'être noté, c'est l'influence qu'une mesure législative a exercée sur l'un des plus importants de ces progrès.

L'article 19 de la loi du 18 germinal an III était ainsi conçu : « Au lieu des tables de rapports entre les anciennes et les nouvelles mesures, qui avaient été ordonnées par le décret du 8 mai 1790, il sera fait des échelles graphiques pour estimer ces rapports sans avoir besoin d'aucun calcul... » Il résulte bien de l'avis émis le 22 frimaire an III par la *Commission temporaire des poids et mesures* (signé : Lagrange et Haüy, secrétaire) et du rapport fait le 9 floréal de la même année, par Coulomb et Laplace, au *Bureau de consultation des Arts et Métiers*, que l'ouvrage de Pouchet avait été jugé très utile et conçu dans l'esprit de la loi. Ce qui résulte aussi du témoignage de Pouchet lui-même, c'est qu'il a trouvé dans ces avis favorables, et surtout dans l'article de loi cité plus haut, le plus puissant encouragement pour

[1] « Un géomètre, dont l'admirable dévouement à propager la science et l'ardeur à provoquer les travaux d'autrui laissaient oublier quelquefois toute l'originalité, Olry Terquem... » Telle est l'appréciation de l'éminent secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, M. J. Bertrand (éloge de G. Lamé, 1878).

continuer son travail et l'augmenter. « Je me suis livré avec d'autant plus de confiance à cette troisième édition, que j'ai trouvé le moyen de composer une table universelle pour tous les sujets... J'ai même trouvé moyen de me passer du compas qui me servait à calculer; en sorte que toutes les combinaisons possibles sont offertes sur ma table, à la simple lecture, comme dans un livre. » (*Métrologie terrestre*, Rouen, 1797, Disc. prélim.)

Pour justifier son titre d'*Arithmétique linéaire*, Pouchet se croit obligé de donner un procédé pour l'addition et la soustraction des nombres décimaux, en utilisant le quadrillage rectiligne de la figure qui représente la suite des hyperboles équilatères.

Ce procédé est aussi incommode qu'étrange; et l'idée d'employer un abaque sommatoire, où des obliques parallèles comprises dans la formule $x+y=z$ joueraient le même rôle pour l'addition que ses hyperboles $xy=z$ remplissent pour la multiplication, lui a complètement échappé (*Ibid.*, p. 147 et suiv.). Il y a donc encore bien loin du moyen purement empirique qui remplace par des hyperboles cotées les chiffres d'une table de multiplication à la synthèse de Terquem.

Dans cette sorte d'histoire d'une idée, il convient de citer, malgré leur peu d'importance pour le genre d'applications que nous avons en vue, les isoplèthes d'un caractère tout différent que Halley d'abord, Euler ensuite, ont imaginées sur la surface du globe, lignes d'égale déclinaison et d'égale inclinaison magnétiques; les *isothermes*, *isochymènes* et *isothères* d'Alex. de Humboldt; et même, en remontant jusqu'à l'antiquité, les méridiens et les parallèles

terrestres ou célestes, qui sont les lieux des points d'égale longitude et d'égale latitude, et probablement les plus anciennes isoplèthes que l'on ait considérées. Toutes ces lignes d'égal élément ont, sans doute, une certaine analogie avec les courbes de niveau; mais celles-ci correspondent plus que les autres à un fait *tangible*, que le nivellement le plus élémentaire met en évidence et dont l'expression graphique n'est pas de pure convention, puisqu'elle suffit, par l'aspect seul du plan coté, à donner une image du relief du terrain.

Cousinery, dans un passage du deuxième volume des Tables de Génieys (p. 259), a signalé l'analogie qui existe entre l'anamorphose rectiligne des hyperboles et le problème que Mercator et Wright s'étaient proposé en allongeant les degrés de latitude de manière à rendre rectiligne, sur les cartes plates, le tracé de la loxodromie, cette ligne si connue des navigateurs, que décrit un navire qui coupe sous le même angle les méridiens consécutifs. Cette analogie est incontestable. Mais a-t-elle joué quelque rôle dans l'invention de l'anamorphose? Les savants[1] chargés d'en rendre compte à l'Académie ne l'ont pas pensé. Ils connaissaient, apparemment, les cartes plates et la loxodromie; ils n'en ont fait aucune mention. Ils ont été plus loin; car Lamé, dans une lettre du 15 août 1843, résumait en ces termes une conversation qu'il venait d'avoir avec Cauchy : « Voici, disait-il, l'opinion de l'illustre géomètre : On peut contester à M. Lalanne la priorité d'invention relativement à l'emploi du tracé graphique en général, mais l'idée des coupes linéaires est neuve, ingénieuse, et lui appartient exclusivement. »

[1] MM. Élie de Beaumont, Lamé et Cauchy, rapporteur.

Entre l'explication donnée par Wright, en 1599, du procédé employé par Mercator pour la construction de sa grande mappemonde (Duysbourg, 1599), et la publication du principe de la graduation des coordonnées comme base de l'anamorphose, en 1843, aucun exemple du même genre n'est venu à notre connaissance.

EMPLOI DE PROCÉDÉS GRAPHIQUES
POUR LES CALCULS RELATIFS AU MOUVEMENT DES TERRES.

On sait que dans tout projet d'ouvrages neufs qui exigent des mouvements de terre, comme les routes, les chemins de fer, les canaux, etc., il ne suffit pas d'avoir calculé les volumes des déblais et des remblais à faire pour modifier le relief du sol conformément au but qu'on se propose. Il faut encore dresser un état exact de la manière dont les déblais doivent être répartis en remblais; déterminer les différentes parties dans lesquelles chaque volume de déblai doit être décomposé, pour être transporté le plus près possible; puis enfin, faire la somme des produits de ces volumes partiels par les distances respectives de transport, et diviser cette somme par le volume total des déblais: le quotient donne la distance moyenne du transport des terres de déblai en remblai. Il est bien vrai que cette suite de calculs ne comporte que les quatre opérations élémentaires de l'arithmétique. Il n'en est pas moins vrai qu'elle exige beaucoup d'attention, et qu'elle est aussi longue que fastidieuse.

Prenons pour exemple une partie de route ou de chemin de fer dans laquelle on a levé 21 *profils* en travers cotés de zéro à 20, et par conséquent 20 *entre-profils* dans quelques-uns desquels on trouve à la fois du déblai et du

remblai. On convient que le plus petit des deux chiffres qui expriment ce déblai et ce remblai correspond à un emploi de déblai dans l'entre-profil même, emploi qui se fait au jet de pelle ou qui, du moins, est compté comme tel. C'est donc de l'excédent seul que l'on a à s'occuper. Si c'est un excédent de déblai, on le porte en remblai à la distance ou aux distances les plus rapprochées possible; si c'est un excédent de remblai, on ira de même chercher au plus près les déblais en quantité suffisante pour le remplir.

DONNÉES DE LA QUESTION POUR LE CALCUL DU MOUVEMENT DES TERRES ET DE LEUR EMPLOI DE DÉBLAI EN REMBLAI.

INDICATION des entre-profils.	DISTANCES entre les centres des entre-profils.	EXCÈS de déblai.	EXCÈS de remblai.	INDICATION des entre-profils.	DISTANCES entre les centres des entre-profils.	EXCÈS de déblai.	EXCÈS de remblai.
	mètres.	m. c.	m. c.		mètres.	m. c.	m. c.
0-1.....	49	560	//	Reports. .	413	1 750	1 005
1-2.....	28	140	//	10-11.....	18		
2-3.....	37	//	90	11-12.....	23	//	110
3-4.....	63	//	310	12-13.....	72	//	85
4-5.....	19	//	540	13-14.....	24	//	140
5-6.....	51	450	//	14-15.....	47	//	360
6-7.....	11	375	//	15-16.....	11	//	125
7-8.....	77	105	//	16-17.....	13	//	105
8-9.....	46	75	//	17-18.....	15	//	85
9-10.....	32	45	//	18-19.....	64	300	//
10-11.....		//	65	19-20.....		//	35
A reporter.	413	1 750	1 005	Sommes...	700	2 050	2 050

On convient encore, pour simplifier, que le volume excédant sera considéré comme tout entier concentré au

milieu même de l'entre-profil, quoique ce milieu ne coïncide généralement pas avec le centre de gravité du volume.

Sans entrer dans aucun des détails de l'opération, nous nous bornons à indiquer, dans le tableau ci-contre, les excédents de déblai et de remblai qui existent à chacun des entre-profils, et qui, avec les distances des entre-profils, fournissent les éléments nécessaires à cette opération.

Si l'on met en œuvre, par la méthode ordinaire, les éléments de ce tableau, on verra qu'il y a 19 volumes partiels de déblai à porter en remblai, et qu'en multipliant chacun de ces volumes par la distance de transport correspondante on forme 19 *moments* dont la somme est 313 640.

Puis, divisant la somme de moments par le volume total de déblai 2 050, on trouve pour quotient la distance moyenne $152^{m},995$.

Le procédé graphique n'exige aucune recherche préalable de distribution des déblais en remblais. Il ne comporte que la construction d'aires rectangulaires à échelons, dont il suffit de mesurer la superficie pour obtenir la somme des moments qui, divisée par la somme des déblais (égale à celle des remblais), donnera la distance moyenne de transport du déblai en remblai.

La construction de la figure ci-après doit être établie de la manière suivante : au-dessus de la base XY, tracez les gradins verticaux montants D_1, D_2, respectivement proportionnels aux déblais disponibles correspondant aux points 1, 2; puis après, les gradins verticaux descendants R_1, R_2, R_3... qui peuvent dépasser la ligne de terre et qui sont aussi respectivement proportionnels aux excédents de remblai des points 3, 4 et 5; prenez la nouvelle série des gradins ascen-

dants D_3, D_4, D_5, D_6 et D_7, et ainsi de suite, jusqu'au dernier remblai R_{12} qui retombe naturellement sur la ligne de terre, se confondant avec R_{20}, puisque nous avons supposé dans les données numériques de la question l'égalité entre les déblais et les remblais.

La somme des superficies teintées tant au-dessus qu'au-dessous de la ligne XY est proportionnelle à la somme des moments cherchée, et lui est égale si on la mesure en ayant égard aux échelles employées. En divisant l'aire par la somme totale des volumes transportés, on a la distance moyenne de transport du déblai en remblai, comme dans le résultat final du tableau précédent.

Tel est le procédé très simple que l'auteur de cette notice exposa pour la première fois, il y a quarante ans, sous une forme un peu différente, après avoir longtemps cherché à simplifier un genre de calculs qui était, pour les ingénieurs chargés de projets de terrassement, une cause de fatigues et qui leur prenait un temps considérable. Il y appliquait même le planimètre d'Oppikoffer et Ernst, après avoir approprié cet instrument, par l'addition de règles à coulisses mobiles, au but qu'il se proposait. (Annales des Ponts et Chaussées, 2e sem. 1840.)

Mais on fit alors une objection à l'emploi de la méthode qu'il proposait. « Vous nous indiquez, lui disait-on, un moyen très simple pour obtenir la distance moyenne du transport de déblai en remblai; mais il ne s'agit pas, dans la pratique, d'une semblable moyenne évaluée en bloc; il faut préalablement faire le départ des parties de terrassement qui seront portées de déblai en remblai à la brouette, puis de celles qu'il faudra porter au tombereau, enfin de celles qu'il sera

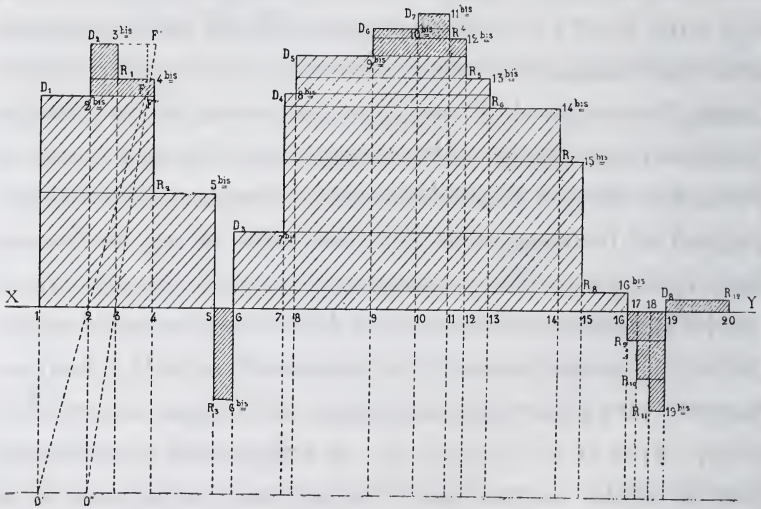
plus avantageux d'exécuter, soit au wagonnet, soit au wagon avec traction de locomotive sur voies provisoires ou définitives. » Cette objection était parfaitement fondée; car il y a économie évidente à user de la brouette pour de petites distances, et de modes de transport de plus en plus parfaits à mesure que la distance augmente. Il est donc possible que ce qu'il y avait d'incomplet dans la solution proposée, aussi bien que le prix élevé de l'instrument qu'on y adaptait, aient empêché la propagation de l'idée que nous soumettions dès 1840 à l'appréciation des ingénieurs. Et cependant la figure dont nous venons d'expliquer la construction et qui se trouvait déjà sous le n° 13 dans la planche CXCIII de la première série des *Annales* (2e semestre 1840), renfermait implicitement le principe de la séparation des volumes des terrassements suivant le genre de transport qui convient à chacun d'eux. En effet, si l'on admet, par exemple, que la limite séparative des transports à la brouette et au tombereau soit une distance de 100 mètres, qui, sur la figure, correspond à 4 centimètres, on voit tout de suite que les surfaces partielles placées au-dessus des horizontales D_1 2 *bis*, D_5 9 *bis* (prolongées) et 19-20, puis au-dessous de la ligne de terre XY, savoir (5) et (6), (17) et (18), ne comportent pas de transport de déblai en remblai à une distance supérieure à la limite admise. Il suffira donc de mesurer séparément ces surfaces partielles, auxquelles on a donné sur la figure une teinte plus foncée : leur somme sera celle des moments de transport à la brouette; la somme des superficies restantes, qui composent la majeure partie de la figure, sera l'équivalent de la somme des moments de transport au tombereau. En divisant chacune des deux sommes partielles par le vo-

lume auquel elle s'applique, on aura la moyenne distance relative à chacun des deux genres de transport. Or le volume des déblais, pour la brouette, sera la somme :

$$2\ bis\ D_2 + 6\ bis\ 6 + 9\ bis\ D_6 + 10\ bis\ D_1 + 19\ D_8;$$

et, pour le tombereau, il sera la différence entre le volume total et la somme de ces volumes partiels.

Le problème est donc résolu, d'une manière absolument intuitive, dans son essence, et les résultats numériques s'obtiennent par des opérations simples résultant de mesures



directes, sans aucun des tâtonnements, sans aucune des chances d'erreur que comporte la rédaction du tableau d'emploi des terres.

La règle pratique pour suppléer à cette rédaction si fastidieuse peut se résumer ainsi :

Sur une ligne horizontale XY *portant des points de division*

qui correspondent aux centres des entre-profils, établissez, en correspondance avec chacun de ces points, des échelons orthogonaux montants pour les déblais 1 D_1, 2 *bis* D_2, *etc., descendants pour les remblais* 3 *bis* R_1, 4 *bis* R_2, *etc., proportionnels à ces déblais ou remblais et se succédant sans interruption jusqu'au dernier, qui doit aboutir au point de division* 20 *sur la ligne* XY; *écrêtez, soit au-dessus, soit au-dessous de* XY, *et parallèlement à cette ligne, les parties saillantes dont la longueur sera moindre que celle qui correspond au transport à la brouette; la figure sera décomposée en deux espèces de tranches dont les superficies respectives représenteront les sommes de moments relatives : pour l'une, au transport à la brouette; pour l'autre, au transport au tombereau; et chacune de ces superficies étant divisée par la somme des échelons montants qui s'y rapporte, on obtient la distance moyenne relative à chacun des deux modes de transport.*

Il est bien évident que s'il y a trois ou quatre modes de transport différents, suivant les distances, un second et un troisième prélèvement de tranches parallèles à XY se fera avec la même facilité.

On comprend d'ailleurs que le découpage par tranches à bases horizontales de la figure doit donner une somme totale de moments égale à celle qui résulte de l'emploi du procédé ordinaire, dont le tableau est l'expression numérique et dont la figure est la représentation graphique. Au demeurant, la manière de procéder qu'indique cette figure est bien conforme à la réalité des choses. On sait, en effet, que c'est toujours dans le voisinage des points de passage du déblai au remblai qu'on commence et qu'on opère le transport de l'un à l'autre. C'est ce qu'exprime la figure où l'on voit le déblai D_2 combler le remblai R_1 et une petite partie

du remblai R_2; puis en (5), une partie 6 *bis* 6 du déblai D_3 combler une partie R_3 5 du remblai R_3, et ainsi de suite.

Il est inutile d'ajouter que les gradins ascendants proportionnels aux déblais auront dû être augmentés, en ayant égard au foisonnement variable, suivant leur nature; et que, dans certains cas, beaucoup plus rares, les gradins descendants proportionnels aux remblais auront été diminués suivant l'importance présumée des tassements qu'éprouveront les déblais qui doivent les combler.

L'usage de la figure suppose qu'il y a égalité absolue entre la somme des déblais et celle des remblais; et il faut bien qu'il en soit finalement ainsi, sauf à *retrousser* le volume de déblai qu'on aurait en excédent ou à *emprunter* de quoi parfaire les remblais auxquels les déblais du corps de la voie à ouvrir ne suffiraient pas. La construction même de la figure indiquera d'abord, par la position du dernier point *au-dessus* ou *au-dessous* de la ligne de terre XY, l'excédent de déblai ou de remblai. La division par tranches fera reconnaître ensuite les régions où les transports se font à la plus grande distance, et où il convient, par conséquent, de faire soit les emprunts, soit les retroussements. La mesure des plus grandes distances et l'application des prix de transport correspondants feront de même reconnaître, par comparaison avec ce que peuvent coûter les retroussements et les emprunts, les cas où il convient d'en faire simultanément et les points où ils seront le mieux placés. En un mot, le procédé auquel on a été conduit il y a quarante ans, par le perfectionnement du planimètre d'Oppikofer et d'Ernst, se prête à toutes les exigences du problème qui consiste à déterminer le meilleur emploi possible des dé-

blais en remblais, le partage le plus économique entre les divers modes de transport et la distance afférente à chacun d'eux. (Voir ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES, 2e sem. 1840, p. 27 et suiv.)

Il existe un certain nombre de constructions simples à l'aide desquelles on peut, sans calcul, obtenir les sommes des moments représentés par les aires de la figure. Voici celle que nous avons proposée :

Soit $1\,D_1\,2\,bis\,2$ un rectangle quelconque dont il s'agit d'obtenir l'aire $= 1\,D_1 \times D_1\,2\,bis$. Prenons un point O dans le prolongement de $D_1\,1$, tirons O 2 que nous prolongerons jusqu'à la rencontre en F de $D_1\,2\,bis$ pareillement prolongé; si l'on prend O 1 = constante et que 2 *bis* soit mesuré sur une échelle convenablement graduée, une simple lecture sur cette échelle donnera l'aire du rectangle exprimée en unités de superficie ou le moment qu'exprime le produit de la base par la hauteur.

Supposons que, dans la figure, les distances des entre-profils (bases b des rectangles) soient rapportées à l'échelle de $\frac{1}{2\,500}$, les volumes de déblai ou de remblai (hauteur h des rectangles) à l'échelle $\frac{1}{20\,000}$; il faudra, pour obtenir la véritable superficie bh d'un rectangle exprimée en unités de superficie, multiplier par $2\,500 \times 20\,000$, ou par 50 000 000, le produit obtenu, lorsque b et h sont rapportées à l'unité linéaire. Prenons la distance constante du point O à XY égale $0^m,025 = \frac{1}{40}$ de l'unité linéaire. Il suffira de multiplier par 1 250 000 la longueur 2 *bis* F apportée au mètre, pour obtenir le moment cherché. Sur le premier rectangle de gauche, la mesure donne $0^m,022$; la superficie sera donc 27 500. Le calcul exact, avec les données de la

question, fournit $560 \times 49 = 27440$; l'erreur est d'environ $\frac{1}{687}$.

On a tracé sur la figure, en partant des points O, O′, etc., la suite des lignes telles que O 2 F, O′ 3 F′, etc., qui déterminent sur les bases supérieures des rectangles les segments 2 *bis* F, 3 *bis* F′, etc., proportionnels aux aires de ces rectangles, et donnant par conséquent, en les rapportant à l'échelle convenable, les valeurs numériques des moments partiels dont on cherche la somme pour en déduire la distance moyenne du transport.

On voit d'ailleurs comment on peut obtenir, toujours par une simple différence de longueurs, le moment relatif à un des rectangles fortement teintés du haut de la figure. En effet, le rectangle 2, 3, 3 *bis* D_2 ayant pour mesure 3 *bis* F′, la partie fortement teintée du haut de ce rectangle a pour mesure la différence entre D_2 F′ et 2 *bis* F″. Cette différence est l'intervalle entre F″ et le pied de la perpendiculaire abaissée de F″ sur D_2 F′.

Quant aux aires placées au-dessous de la *ligne de terre* XY, on leur applique des constructions analogues, après les avoir préalablement rabattues symétriquement au-dessus de cette ligne.

Pour généraliser les conditions qui ont servi aux calculs dans l'exemple précédent, lorsque les bases b des rectangles ont été construites à l'échelle de $\frac{1}{m}$ et leurs hauteurs h à l'échelle de $\frac{1}{n}$, en désignant par C la distance constante qui sépare la ligne de terre XY de sa parallèle OO′..., et par l la longueur qui est proportionnelle à l'aire du rectangle bh, comme on a $bh = Cl$, ou $bh = l$ si l'on prend C égal à l'unité. On aura pareillement $mnbh = Cmnl$; ce qui revient

à dire que la valeur de la superficie du rectangle ou du moment équivalent est égale au nombre qu'exprime l mesurée à l'échelle de $\frac{1}{mn}$; et si C devient moitié, tiers ou quart de l'unité, la longueur l devient double, triple ou quadruple, ce qui oblige à réduire le multiplicateur mn dans la même proportion. La graduation d'une échelle mobile sur laquelle on lirait immédiatement le moment ou l'aire vraie du rectangle doit donc être faite à l'échelle de $\frac{1}{mnC}$; et même, sans avoir construit cette échelle, on aura la valeur du moment cherché en mesurant l par rapport à l'unité et en multipliant par mnC.

Ainsi dans la figure, les bases étant construites à l'échelle de $\frac{1}{7500}$ et les hauteurs à celle de $\frac{1}{20000}$, et la distance O1 étant égale à $0^m,025$, on a $m = 7500$, $n = 20000$ et $C = 0^m,025$; l'échelle devra être construite à raison de

$$\frac{1}{0^m,025 \times 7500 \times 20000} = \frac{1}{3750000},$$

ou à l'échelle de 8 millimètres pour un produit égal à 10 000 000.

Aussi lorsque, après avoir mesuré la somme des différences telles que 2 *bis* F, D_2F' (nous n'avons marqué les constructions sur la figure que pour les deux premiers points O, O'), on trouve que cette somme a pour longueur 84 millimètres, on en conclut que la somme des moments a pour expression

$$0,084 \times 3750000 = 315000.$$

Or nous avons dit que cette somme calculée rigoureusement est 313 640. L'erreur est donc de 1 360 sur 313 640 ou d'environ $\frac{1}{232}$.

Les épures construites dans les bureaux de la Direction des chemins de fer de l'État l'ont été à l'échelle de $\frac{1}{5000}$, ou $0^m,02$ par 100 mètres, pour les distances des profils (bases des rectangles), et de $\frac{1}{20000}$, ou $0^m,05$ par 1000 mètres cubes, pour les volumes de déblai ou de remblai (hauteur de ces rectangles). En prenant $O1 = C = 0^m,05$, les longueurs 2 *bis* F rapportées au mètre devront être multipliées par $5000 \times 20000 \times 0,05$ ou par 50 000 000, pour exprimer en unités les moments correspondants.

Les considérations géométriques sur lesquelles est fondé l'emploi du procédé graphique, dont on devait se borner ici à donner les règles pratiques, sont développées dans un article des Annales des Ponts et Chaussées (*Mémoires et documents*, cahier d'août 1879), article qui a paru séparément sous le titre : *Exposé de deux méthodes pour abréger les calculs des terrassements et des mouvements de terre*, etc. (Dunod, éditeur). L'origine même s'en trouve dans un mémoire intitulé : *Sur l'arithmoplanimètre, machine arithmétique et géométrique*, etc., publié aux *Annales* (2e sem. 1840), comme on l'a déjà dit.

Mais il était naturel que les mêmes besoins existant à la fois dans des pays différents vinssent donner naissance à des solutions du même genre. C'est ce qui a eu lieu pour l'invention du procédé que nous venons de décrire. On trouve en effet dans le beau livre intitulé : *Die graphische Statik*, par M. Culmann[1], une méthode due à l'ingénieur

[1] Voir dans la traduction française publiée par M. Dunod, en 1880, le chapitre intitulé : Mouvement des terres (p. 33). Cette traduction, faite sur la deuxième édition allemande publiée à Zurich, en 1874, est due à MM. G. Glasser et J. Jacquier, ingénieurs des Ponts et Chaussées; et Valat, ingénieur civil.

bavarois Bruckner qui présente une analogie frappante avec la nôtre. Il résulte d'une note que l'éminent professeur de Zurich a bien voulu nous envoyer, que le procédé Bruckner a été employé pour la première fois lors de la construction du plan incliné de Culmbach, en 1844, c'est-à-dire quatre ans après la publication de la nôtre; et ce qui rend le rapprochement plus frappant, c'est que les ingénieurs suisses ont plus récemment (dit M. Culmann) employé le planimètre au procédé de M. Bruckner. Or c'est par là même que nous avions commencé.

XXXIX

TABLEAU GRAPHIQUE

DES HEURES DU LEVER ET DU COUCHER DU SOLEIL

EN UN POINT QUELCONQUE DU GLOBE TERRESTRE

ET POUR UNE ÉPOQUE QUELCONQUE DE L'ANNÉE,

PAR M. ÉDOUARD COLLIGNON,

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Les heures du lever et du coucher du soleil en un point du globe et à une époque déterminée dépendent de la latitude du lieu et de la déclinaison du soleil à l'instant considéré. Si l'on appelle λ la latitude, D la déclinaison, et H l'heure du coucher réduite en degrés, à raison de 15° pour une heure, on aura entre ces trois éléments la relation

$$\operatorname{tang}\lambda \operatorname{tang} D = -\cos H.$$

Le tableau exposé et la figure ci-contre ne sont que la traduction graphique de cette formule.

Des lignes horizontales, menées aux distances tang λ d'un même point pris pour origine, représentent les latitudes; des droites concourantes au même point représentent les déclinaisons par l'angle qu'elles font avec la ligne moyenne du tracé; à droite elles sont positives ou boréales, à gauche négatives ou australes. Elles aboutissent au bas de l'épure à une courbe qui donne l'équation du temps pour les diverses époques de l'année. Chaque point de la figure peut

être regardé comme l'intersection d'une horizontale qui correspond à une certaine latitude et d'une ligne inclinée

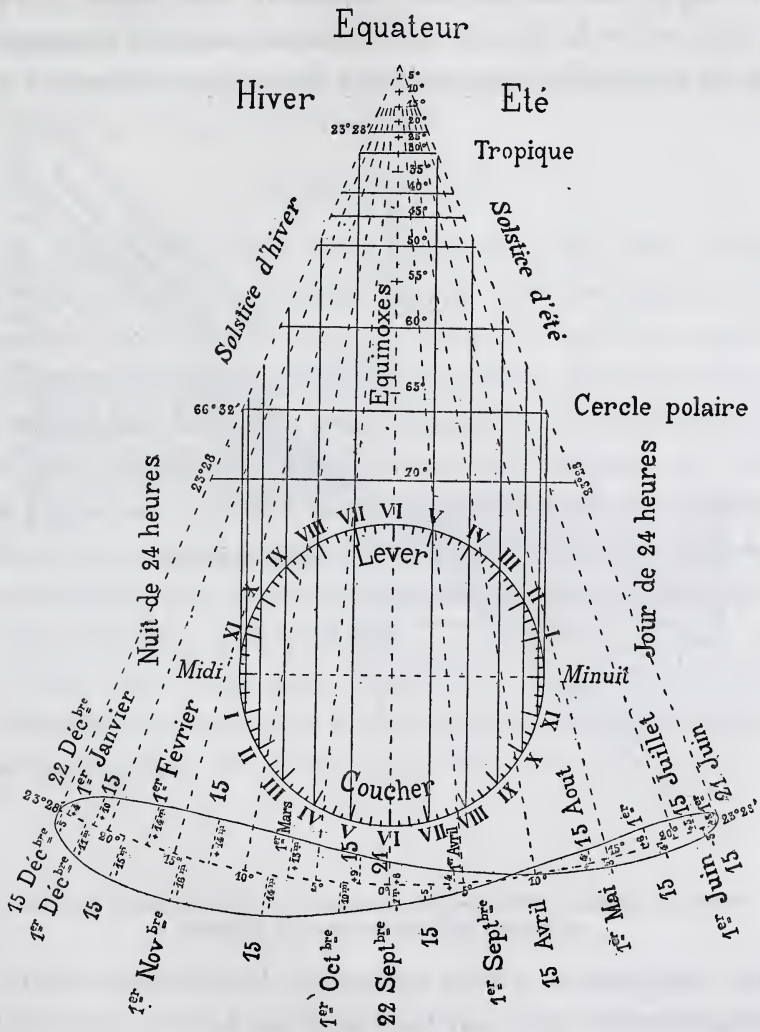


Diagramme des levers et des couchers du soleil. (Temps vrai.)

qui définit une certaine déclinaison. La verticale menée par ce point coupe généralement le cercle des heures en deux

points, dont l'un indique l'heure du lever, l'autre l'heure du coucher du soleil en *temps vrai*. Pour obtenir la correction de ces heures et les ramener au *temps moyen*, il n'y a qu'à suivre la ligne de la déclinaison jusqu'à la rencontre de la courbe des époques; on y lira, d'après l'époque, et

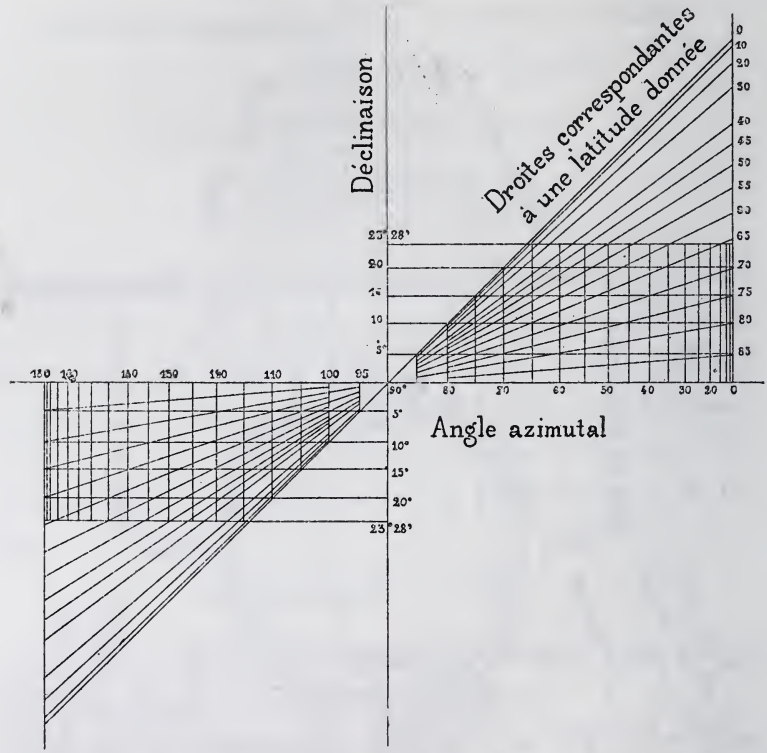


Diagramme donnant à vue les angles azimutaux du lever et du coucher du soleil, en fonction de la déclinaison et de l'altitude.

par interpolation, s'il est nécessaire, la correction additive ou soustractive qu'il faut faire subir aux heures qu'on vient de lire sur le cercle.

Le tableau est dressé pour les latitudes boréales; mais on peut sans difficulté en étendre l'usage aux latitudes aus-

trales, en changeant le signe de la déclinaison, ce qui revient à changer le signe de la latitude. On aura soin seulement d'appliquer aux heures lues la correction qui correspond à l'époque vraie.

Le second diagramme contenu dans la planche est une traduction analogue de la formule

$$\sin D = \cos \lambda \cos \omega,$$

qui donne l'amplitude *ortive* ou *occase* ω du soleil, c'est-à-dire les angles azimutaux compris entre les points où il se lève ou se couche et la direction du Nord. Les lignes inclinées qui viennent concourir au centre du tracé correspondent aux latitudes, les horizontales aux déclinaisons, et les verticales aux azimuts que l'on cherche : on les lit auprès des verticales sur l'horizontale qui sert de base au triangle formé par la figure. Le même abaque, étendu et complété, peut servir à résoudre à vue un triangle sphérique rectangle, quel qu'il soit.

Nous renverrons, pour la théorie et la construction de ces tableaux graphiques, à un article des *Nouvelles Annales de mathématiques* (2e série, tome XVIII, 1879).

XL

ATLAS DES PORTS DE FRANCE.

Un portefeuille de cartes et de plans.
Quatre volumes de notices.
Les cartes sont à l'échelle de $0^m,0075$ ($\frac{1}{133\,333}$);
les plans à l'échelle de $0^m,0002$ ($\frac{1}{5\,000}$).

Une décision ministérielle du 24 octobre 1868 a ordonné la publication d'un atlas des ports maritimes de la France, et a chargé une commission d'arrêter les bases et de diriger l'exécution de ce travail.

L'ouvrage comprend, outre les plans de tous les ports, des cartes à la fois hydrographiques et territoriales, destinées à représenter les atterrages de nos principaux établissements maritimes, ainsi que leurs moyens de communication avec l'intérieur du pays, et des notices donnant les renseignements les plus essentiels sur les abords, les conditions nautiques, le développement successif, l'état actuel et la statistique de chacun des ports.

Il se composera de huit volumes de texte et de cent soixante-trois planches.

Indépendamment de leur publication dans le corps de l'ouvrage, les notices des principaux ports sont tirées à part.

Sur la demande de MM. les ingénieurs en chef chargés des services maritimes, les plans de l'atlas sont reportés sur

pierre, mis à jour et tirés en lithographie à un nombre quelconque d'exemplaires, de manière à pouvoir être utilisés pour la rédaction des projets et les autres besoins du service.

La partie de l'ouvrage actuellement publiée se compose des quatre premiers volumes de texte, des plans de ports depuis Dunkerque jusqu'à l'embouchure de la Loire, et des notices isolées des ports de Boulogne, Dieppe, le Havre, Rouen, Honfleur, Cherbourg, Granville, Saint-Malo, Morlaix, Brest et Lorient; la gravure des plans des autres ports de l'Océan et de la Méditerranée est dès à présent très avancée.

On peut se procurer les cartes, plans et notices de l'atlas chez Challamel aîné, éditeur de la marine, qui, soit à Paris, soit dans les principaux ports, tient ces documents à la disposition du public moyennant des prix fixés par l'Administration.

La Commission de l'atlas est présidée, depuis la mort récente de M. l'inspecteur général Léonce Reynaud, qui l'avait présidée depuis son origine, par M. Léon Lalanne, inspecteur général, directeur de l'École des Ponts et Chaussées.

Elle a pour secrétaires M. l'ingénieur en chef de Dartein, chargé de la préparation des gravures; et M. l'ingénieur en chef Choisy, chargé de l'impression des notices.

Les autres membres de la Commission sont : MM. Botton, inspecteur général des Ponts et Chaussées; Collignon, ingénieur en chef, inspecteur de l'École des Ponts et Chaussées, et Caulet de Longchamp, chef de division de la navigation au Ministère des travaux publics.

Chef du bureau de dessin : M. le conducteur Huguenin.

Graveurs des planches : MM. Pérot et Hellé.

XLI

LES TRAVAUX PUBLICS DE LA FRANCE.

Cinq volumes grand in-folio avec planches photographiques.

La belle collection de vues photographiques envoyée à l'Exposition universelle de Vienne par le Ministère des travaux publics a été le point de départ de cet ouvrage, qui en reproduit les planches les plus remarquables.

Chacun des cinq volumes a pour objet une branche spéciale des travaux publics; il en fait connaître l'histoire, les conditions d'établissement, la statistique et les principaux monuments. Le texte est accompagné de cartes, de nombreux dessins et de cinquante planches tirées par les nouveaux procédés de la phototypographie.

L'ouvrage est publié sous les auspices du Ministère des travaux publics et sous la direction de M. Léonce Reynaud, inspecteur général des Ponts et Chaussées. Il a été rédigé par MM. les ingénieurs Lucas et Fournié (1er volume : Routes et ponts); E. Collignon (2e volume : Chemins de fer); de Lagrené (3e volume : Navigation intérieure); Voisin-Bey (4e volume : Ports de mer); E. Allard (5e volume : Phares et balises).

Rothschild, éditeur, à Paris.

XLII

COLLECTION DE VUES PHOTOGRAPHIQUES.

Quatorze albums [1].

Le Ministère des travaux publics avait fait figurer aux Expositions universelles de Vienne et de Paris une série d'albums photographiques contenant les vues d'un grand nombre d'ouvrages exécutés sur les diverses voies de communication de la France.

L'intérêt avec lequel cette première collection a été accueillie a décidé la Commission à la renouveler en la complétant. La collection, telle qu'elle se présente aujourd'hui, est enrichie par l'addition d'un grand nombre de vues nouvelles; en même temps, les anciennes épreuves jugées imparfaites ont été remplacées par d'autres, exécutées dans une saison plus favorable.

Afin de rendre l'examen plus facile, on a classé les vues par nature d'ouvrages.

Le Ministère des travaux publics est principalement re-

[1] Une partie des clichés a été empruntée, avec l'autorisation de l'Administration, par M. Rothschild, éditeur, pour servir à l'ouvrage intitulé : *Les travaux publics de la France*, qui se publie sous les auspices du Ministère des travaux publics. A ce titre, cet ouvrage a été compris au nombre des objets exposés par le Ministère.

devable de cette collection à M. Magny, de Coutances (Manche), et à M. Duclos, photographe, à Quimper (Finistère); les photographies des ouvrages nouveaux ont été exécutées sous la direction des ingénieurs des différents services.

DEUXIÈME PARTIE.

MINES.

XLIII

DIRECTION DES MINES.

I

CARTE GÉOGRAPHIQUE ET STATISTIQUE DE LA PRODUCTION MINÉRALE DE LA FRANCE EN 1876.

Cette carte est la reproduction, à une échelle réduite, de la carte murale qui a figuré à l'Exposition universelle de 1878, à Paris, dans le pavillon du Ministère des travaux publics, et qui a été dressée par M. O. Keller, chef du service de la statistique de l'industrie minérale.

Elle comprend les mines, minières, tourbières et salines qui ont été en activité en 1876; elle indique la situation géographique de ces diverses exploitations et représente les poids des substances minérales qu'on en a extraites pendant la même année.

C'est la première publication d'une carte générale des mines de la France. Il eût été instructif, sans doute, d'y faire figurer (avec un signe distinctif), à côté des mines actives, les nombreuses concessions inexploitées; mais la petitesse de l'échelle a porté à renoncer à ce complément, pour ne pas nuire à la clarté de la carte. Telle qu'elle est établie, celle-ci comprend déjà 564 mines, savoir : 349 de charbon, 30 d'asphalte et de bitume, 93 de fer, 8 de pyrites de fer ou de soufre, 63 mines métallifères (de plomb, cuivre, zinc, etc.) et 21 exploitations de sel gemme, y com-

pris les sources salées. Elle indique, en outre, la situation des minières, des tourbières et des marais salants, soit isolés, soit par groupes. On y trouve les noms de toutes ces mines, minières ou groupes de minières, et ceux des cours d'eau près desquels se tire principalement la tourbe.

Chacune des exploitations a été identifiée avec la commune où le siège principal d'extraction est établi. Des signes topographiques variés et de couleur différente permettent d'en distinguer la nature et l'objet.

A ce dernier point de vue, les substances minérales ont été classées en huit catégories dont voici la production en 1876 :

Houille et anthracite	16 635 853 tonnes.
Lignite	465 595
Tourbe	333 110
Asphalte et bitume	176 070
Minerai de fer	2 393 340
Pyrites de fer et soufre natif	144 549
Minerais divers	32 910
Sel gemme	252 081
Sel de mer	333 829

Lorsque les produits d'une mine appartiennent à deux catégories — comme c'est le cas pour quelques mines de houille d'où l'on extrait simultanément du charbon et des schistes bitumineux ou bien du minerai de fer, — la réunion des deux couleurs indicatrices de ces substances spécifie cette particularité.

Les noms des exploitations des *minerais divers* sont accompagnés de lettres indiquant la nature des métaux contenus dans ces minerais, plomb, argent, cuivre, zinc, manganèse,

étain, antimoine, aluminium, etc. De même pour les pyrites de fer ou de cuivre et pour le soufre. Des caractères plus grands désignent les mines dont la production s'est élevée, en 1876, à plus de 100 000 tonnes de charbon, 50 000 tonnes de minerai de fer, 20 000 tonnes de sel gemme.

La représentation graphique des poids des divers minerais obtenus pendant l'année consiste dans l'emploi de cercles de diamètres gradués en partant de 3 millimètres de diamètre pour figurer une extraction de 10 000 tonnes; la surface de chaque cercle est proportionnelle au nombre de tonnes qu'elle est appelée à exprimer.

Pour les minerais de fer et pour les autres minerais métalliques, le diagramme indique la production du minerai, brut ou préparé, propre au traitement métallurgique. Un cercle concentrique, d'un plus grand diamètre et d'une nuance affaiblie, représente en outre, lorsqu'il y a lieu, le tonnage des minerais extraits à l'état brut, avant toute préparation.

Pour la tourbe et le sel marin, on a employé de préférence des carrés équivalents en surface.

Ces figures sont différemment coloriées, suivant la nature des minerais auxquels elles se rapportent, et permettent de se rendre compte, à la simple inspection de la carte, de la variété et de l'importance des produits minéraux tirés d'une région quelconque de la France. Chacune d'elles représente la production d'un groupe d'exploitations déterminé.

Il reste à faire connaître le procédé employé pour former et définir ces groupes.

Pour les combustibles, aucune difficulté ne se présentait,

en général, à cet égard, les mines se groupant naturellement par bassins. Toutefois on a réuni, pour plus de clarté, quelques petits centres de production sans lien géologique immédiat, soit les uns aux autres, soit au grand bassin le plus rapproché. Les mines de lignite, exploitées sur une petite échelle, présentent plusieurs exemples de pareils groupements. Par suite, les centres de production distincts sur la carte ont été réduits à 32 pour la houille et l'anthracite, à 14 pour le lignite, bien que le nombre des bassins exploités en 1876 ait été de 44 pour les premiers combustibles, et de 23 pour les seconds.

Les tourbières ont été divisées en huit régions, suivant qu'elles appartiennent aux *bassins hydrographiques* de la Loire, de la Garonne, du Rhône, de la Seine, de la Somme, de l'Escaut, de la Meuse ou de la Moselle.

Les mines d'asphalte et de bitume ont été réparties en 4 groupes, correspondant aux bassins d'Autun, de l'Allier (y compris le Puy-de-Dôme), de Seyssel (Ain et Haute-Savoie), du Gard.

Les mines et minières de fer, indistinctement, ont été réunies d'après leurs relations géographiques et, en même temps, autant qu'il a été possible, sans pousser trop loin les divisions, d'après les conditions géologiques des gisements et la nature minéralogique des minerais. Afin d'opérer graphiquement ces groupements, on s'est inspiré du procédé usité dans les cartes cosmographiques pour indiquer les constellations, et on a relié, au moyen de traits discontinus, les exploitations (parfois très éloignées les unes des autres) destinées à faire partie d'un même groupe.

La carte représente de cette façon vingt-cinq centres de

production, dont il a paru convenable d'indiquer séparément la production par un cercle placé dans l'intérieur du polygone caractéristique de chaque groupe et concordant approximativement avec le centre de gravité de la figure, dans la supposition où l'on appliquerait aux diverses exploitations qu'elle comprend des poids proportionnels au tonnage des minerais extraits dans l'année.

L'importance des vingt-cinq groupes de mines ou minières de fer est très inégale. Le nombre des centres de production ayant fourni plus de 20 000 tonnes se réduit à douze, d'où l'on a tiré plus des neuf dixièmes de la production totale; les principaux sont Nancy, Vassy, Privas, Autun et Bourges.

Les mines où s'exploitent les pyrites de fer, parfois légèrement cuivreuses, pour la fabrication de l'acide sulfurique, forment deux groupes distincts, dans la vallée du Rhône, situés : l'un dans le département de ce nom, l'autre dans ceux du Gard et de l'Ardèche. Une petite exploitation de marnes imprégnées de soufre, qui a été en activité dans Vaucluse, est figurée séparément.

Les mines de plomb, d'argent, de cuivre, de zinc, de manganèse et d'étain, auxquelles on a joint une exploitation d'alunite et une autre de bauxite, ont été réunies, par le procédé graphique précédemment mentionné, en six groupes d'une grande étendue superficielle, dont les deux principaux correspondent au plateau central de l'Auvergne et à la chaîne des Cévennes.

Les quantités respectives des divers minerais tirés de ces mines sont mentionnées et figurées sous forme de secteurs dans un angle de la carte.

Enfin, les exploitations de sel gemme, situées aux deux extrémités opposées de la France, constituent trois groupes naturels : ceux de Meurthe-et-Moselle, du Jura et de Dax, ce dernier comprenant les sources salées des Landes et des Basses-Pyrénées. La production des marais salants est, en outre, indiquée par deux carrés, de dimension peu différente, se rapportant, d'une part aux sels de l'Atlantique, et de l'autre à ceux de la Méditerranée.

Pour compléter cet ensemble de renseignements statistiques, une échelle de proportion, placée sur le côté de la carte, représente, avec le concours de couleurs appropriées, l'importance relative de la production des houilles, des lignites, des tourbes, des asphaltes et bitumes, des minerais de fer, des pyrites de fer, des autres minerais métalliques, du sel gemme et du sel marin.

Rien ne paraît plus propre qu'une carte de ce genre à donner une juste idée de la répartition et de la fécondité relative des mines et des autres exploitations minérales, à la surface du territoire, en même temps que de la nature des produits tirés de chaque région. Une collection de cartes analogues, qu'on dresserait à certains intervalles, par exemple tous les vingt ans, fournirait un sujet d'études très intéressant, représenterait, à ses principales étapes, l'évolution de notre industrie minérale, et résumerait l'histoire de son développement.

II

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE :

1° DU DÉVELOPPEMENT DE L'INDUSTRIE HOUILLÈRE EN FRANCE DEPUIS 1811 ;

2° DE LA PRODUCTION DES FONTES, DES FERS ET DES ACIERS EN FRANCE DEPUIS 1819.

(2 tableaux.)

Les *Résumés des travaux statistiques de l'Administration des Mines* renferment des renseignements d'un grand intérêt concernant le développement de l'industrie houillère et de l'industrie du fer en France.

On y trouve consignées depuis 1787, mais avec des lacunes, sans aucune interruption, année par année, depuis 1811, la production, l'importation, l'exportation et la consommation des combustibles minéraux. Ces résumés contiennent, entre autres renseignements, à partir de 1833, année où le Ministère des travaux publics en a commencé la publication, l'indication du prix moyen des combustibles, le nombre des mines et celui des mineurs.

Des renseignements analogues y figurent touchant la production des fontes et des fers depuis 1819 et celle des aciers depuis 1826; ils sont complétés par les prix moyens de vente depuis 1833.

Le Directeur des Mines a chargé M. Keller du soin de représenter graphiquement ces précieuses indications, de manière à permettre de saisir d'un seul coup d'œil la marche générale de ces industries et d'étudier les fluctuations annuelles auxquelles elles ont été soumises.

Le mode de représentation adopté a pour base des coordonnées orthogonales, les différentes années étant échelonnées sur la ligne des abscisses.

Le premier tableau, relatif à l'industrie houillère, représente, pour la période de 1811 à 1877, les quantités de charbon : 1° extraites des mines françaises; 2° exportées; 3° importées des pays étrangers; 4° consommées en France.

L'importation figure au-dessus et comme en addition de la production; l'exportation, au contraire, à la base du tableau, de façon que la consommation est rendue visible par la simple différence des surfaces représentées, de teintes variées. Celle qui figure l'importation est divisée en trois zones de couleurs différentes, suivant la provenance des houilles (Belgique, Angleterre, Allemagne).

De même, la surface correspondant à la production des mines indigènes est divisée en une série de zones superposées qui indiquent la production annuelle de chacun des principaux bassins. Ce mode de représentation permet de saisir d'un coup d'œil les phases successives et l'importance relative de l'exploitation des combustibles minéraux dans les bassins de Valenciennes, de la Loire, d'Alais, du Creusot, de Blanzy, de Commentry, d'Aubin et d'Aix; il montre clairement la part pour laquelle chacun d'eux a contribué à la production totale annuelle depuis 1833.

Les ordonnées de deux lignes plus ou moins brisées, de couleur rouge, figurent les prix moyens annuels des combustibles consommés en France sur les lieux d'extraction et sur les lieux de consommation. Deux autres lignes indiquent le nombre annuel des mines exploitées et celui des ouvriers.

Le second tableau se compose de trois parties concernant : 1° les fontes, 2° les fers, 3° les aciers.

Des surfaces diversement teintées y figurent :

La production totale de la fonte, divisée en fonte au bois, fonte au coke ou mixte;

La production totale du fer, divisé en fer au bois ou mixte, fer marchand au coke, rails;

La production de l'acier, distingué en acier puddlé et de forge, acier fondu par les procédés Bessemer, Siemens ou Martin, acier fondu au creuset, acier cémenté.

Des lignes rouges plus ou moins brisées, tracées dans chacune des trois divisions du tableau, indiquent les prix moyens des divers produits, d'année en année.

III

CARTE DE LA PRODUCTION, DE LA CONSOMMATION ET DE LA CIRCULATION EN FRANCE PENDANT L'ANNÉE 1872.

Cette carte, à l'échelle de $\frac{1}{1\,600\,000}$, a été dressée au Ministère des travaux publics, en 1875, par M. le comte DE VASSART D'HOZIER, ingénieur en chef des Mines, d'après les documents coordonnés par le Service de la statistique de l'industrie minérale.

Elle a été publiée dans le *Résumé des travaux statistiques de l'Administration des Mines en 1870, 1871 et 1872*.

La production des combustibles minéraux y est figurée, pour chaque bassin, par un carré dont la surface a été réglée proportionnellement à la quantité extraite en 1872, le carré de 1 millimètre de superficie représentant une production de 10 000 quintaux métriques.

La quantité du charbon consommé dans chaque département est représentée, d'une manière analogue, par un cercle ayant son centre au chef-lieu.

L'originalité de cette carte réside principalement dans le

tracé des lignes de circulation, voies ferrées et voies navigables, suivies, d'une part, par les combustibles indigènes, et, de l'autre, par les houilles importées de la Belgique, de l'Angleterre ou de Sarrebrück. Une couleur spéciale est attribuée aux combustibles de ces quatre provenances, tant pour figurer les lignes de circulation que les quantités consommées dans les départements. Ces quantités peuvent être évaluées approximativement à première vue, d'après la surface des secteurs diversement teintés que présentent les cercles tracés autour des chefs-lieux.

Pour les lignes de circulation dans l'intérieur du pays, les teintes sont alternées lorsque des combustibles de diverses origines parcourent la même voie. Des lignes, toujours distinctes, tracées hors des côtes, indiquent les voies de circulation maritime.

Les noms de tous les bassins producteurs sont inscrits sur la carte, ainsi que les nombres de quintaux métriques des combustibles extraits de chaque bassin ou consommés dans chaque département.

IV

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE ET DES APPAREILS À VAPEUR EN FRANCE ET EN ALGÉRIE (1876, 1877, 1878).

Ce volume est le dernier paru du Recueil commencé par l'Administration des Mines dès 1833. Il renferme, sous forme de tableaux, précédés d'un exposé comparatif détaillé, les renseignements recueillis par les ingénieurs des mines dans chaque département, et coordonnés par le Service de la statistique de l'industrie minérale au Ministère des travaux publics.

XLIV

ÉCOLE NATIONALE DES MINES DE PARIS.

INSTITUTION ET BUT DE L'ÉCOLE.

L'École des Mines, créée en 1778, puis rétablie à Paris en 1816, est placée dans les attributions du Ministre des travaux publics. Elle est spécialement destinée à former les ingénieurs que réclame le service confié par l'État au Corps des Mines.

Toutefois, indépendamment des élèves *ingénieurs*, l'École reçoit aussi des élèves *externes*, des élèves *étrangers* et des élèves *libres*.

Les élèves *ingénieurs* sont pris exclusivement parmi les élèves sortant de l'École polytechnique et entrent seuls au service de l'État. Ils sont nommés par décret.

Les élèves *externes* sont spécialement préparés pour les positions si variées qu'offre l'industrie, et surtout appelés à devenir ingénieurs ou directeurs d'exploitations de mines et d'usines métallurgiques.

Leur admission a lieu par voie de concours, conformément au double programme ci-joint.

Les élèves *étrangers* sont admis par décision du Ministre, sur la demande des ambassadeurs ou chargés d'affaires des puissances étrangères, sous la condition de subir avec succès

un examen de capacité devant MM. les commissaires du concours d'admission : cet examen a lieu à l'École des Mines, une fois par an, pendant la dernière quinzaine d'octobre.

Les élèves *libres* sont, sur leur demande personnelle, simplement autorisés par le Ministre à suivre les cours et exercices pratiques de l'École des Mines. Les élèves externes, élèves étrangers et élèves libres sont tenus de verser au secrétariat de l'École une masse de 35 francs pour dégâts divers.

L'enseignement est commun aux diverses catégories d'élèves; toutefois les élèves étrangers et libres ne peuvent participer aux exercices pratiques que dans la mesure du nombre des places disponibles au laboratoire et dans les salles de dessin.

A la fin de chaque année scolaire, les élèves ingénieurs et externes subissent des examens sur les cours suivis. Ces examens sont facultatifs pour les élèves étrangers. Les élèves libres ne sont pas admis à ces épreuves.

A la sortie de l'École, les élèves ingénieurs sont nommés ingénieurs ordinaires de 3e classe; les élèves externes qui justifient des connaissances nécessaires reçoivent un brevet et sont autorisés à porter le titre d'*élèves brevetés de l'École nationale des Mines de Paris.*

Aux élèves étrangers on délivre simplement des certificats d'études.

COURS PRÉPARATOIRES.

Pour faciliter l'admission aux places d'élèves externes, des cours *préparatoires* ont été institués à l'École des Mines,

par décision ministérielle du 26 décembre 1844. Ces cours sont suivis par deux catégories d'élèves :

Les élèves *titulaires des cours préparatoires* admis après concours par le Ministre, et les élèves libres, français ou étrangers, simplement autorisés par le Ministre, sur demande personnelle.

Les premiers sont seuls astreints à subir, à la fin de l'année scolaire, un examen sur les diverses parties de l'enseignement.

Les candidats aux places d'élèves titulaires des cours préparatoires doivent remplir les conditions fixées par le programme ci-joint. (Cours préparatoires.)

L'enseignement préparatoire se compose de quatre cours et d'exercices pratiques.

Les cours comprennent :

1° Des notions d'analyse infinitésimale et la mécanique;

2° La géométrie descriptive, pure et appliquée;

3° Les parties de la physique qui traitent plus spécialement des gaz et des vapeurs, de la chaleur et des instruments d'optique;

4° La chimie générale.

Deux de ces cours comportent 25 à 30 leçons, et les deux autres 55 à 60 leçons, professées du 7 novembre à fin mai.

Le programme des cours n'est autre que celui des connaissances exigées pour l'admission aux places d'élèves externes, sauf la géographie et la cosmographie.

Les exercices pratiques consistent en dessin géométrique et lavis.

COURS DE L'ÉCOLE DES MINES.

L'enseignement de l'École des Mines a pour objet spécial l'exploitation des mines et le traitement des substances minérales.

Il embrasse trois années d'études, et comprend, outre les leçons orales, des exercices pratiques et des voyages d'instruction.

Les élèves de *1re année* suivent les sept cours d'exploitation des mines et machines, de métallurgie, de minéralogie, de géologie, de docimasie, de paléontologie et de lever des plans;

Les élèves de *2e année*, la deuxième partie des trois cours d'exploitation et machines, de métallurgie, de docimasie et le cours de géologie;

Les élèves de *3e année*, les cinq cours de constructions, de chemins de fer, de législation des mines, droit administratif et économie industrielle, d'agriculture et géologie technique et de fortification militaire.

L'enseignement oral comprend en outre l'allemand et l'anglais : les élèves sont astreints à suivre l'un ou l'autre de ces cours de langues étrangères.

Les cours oraux s'ouvrent, chaque année, du 7 au 15 novembre, et se ferment au 15 avril.

Les exercices pratiques sont ainsi répartis :

Pendant la durée des cours, les élèves de 1re et de 2e année travaillent alternativement au laboratoire et au dessin, étudient les collections de l'École des mines et visitent les usines et ateliers des environs de Paris.

Après les examens du mois de mai, les élèves de 1re année

sont exercés aux analyses chimiques jusqu'au 15 juillet, et au lever de plans jusqu'au 15 août. Au 15 août, ils entrent en vacances, mais ils sont tenus de faire, en septembre ou en octobre, un séjour de trois semaines dans l'un des principaux districts miniers et métallurgiques de la France ou de la Belgique.

Dans la première quinzaine de juin, les élèves de 2e année font des courses géologiques sous la direction de leurs professeurs; puis visitent, en été, divers districts de mines et d'usines, d'après un programme arrêté par le conseil de l'École. A leur retour, ils rendent comptent de leurs observations dans des rapports ou mémoires pourvus de dessins et de croquis cotés.

Chaque élève de 3e année doit enfin dresser, d'après des bases fixées par le conseil de l'École, un projet d'exploitation et un projet de métallurgie; et, pour clore la 3e année scolaire, les élèves ingénieurs font un deuxième voyage d'instruction, d'environ cent jours, au retour duquel ils ont également à rédiger des mémoires ou rapports sur les divers établissements désignés à leur attention.

Le deuxième voyage est facultatif pour les élèves externes.

ORDRE INTÉRIEUR.

Les élèves sont tenus de rester chaque jour à l'École pendant tout le temps consacré aux cours et aux exercices pratiques; ils ne peuvent quitter l'École avant l'heure fixée qu'avec l'autorisation de l'inspecteur des études et du directeur.

Des appels constatent l'arrivée et la présence des élèves à l'heure prescrite.

Aucun élève ne peut s'absenter, pour un ou plusieurs jours, sans l'autorisation du directeur de l'École ou de l'inspecteur.

Il est attribué aux élèves, pour leur assiduité aux cours et aux exercices pratiques, des points qui concourent à leur classement définitif : la perte, par défaut d'assiduité, d'un nombre fixé de ces points peut entraîner l'exclusion de l'École.

EXAMENS.

Des examens ont lieu, à la fin de l'année scolaire, sur chacun des cours, y compris les langues étrangères (allemand et anglais).

Ils comprennent tous, outre l'examen oral, une composition écrite.

Le passage d'une division dans une autre et le classement définitif des élèves, au moment de leur sortie, dépendent du nombre de points obtenu dans l'ensemble de toutes ces épreuves, y compris l'assiduité aux cours et les exercices pratiques.

A leur sortie de l'École, les élèves ingénieurs choisissent, dans l'ordre du classement définitif, parmi les résidences ou emplois vacants; et les élèves externes qui ont subi convenablement les épreuves requises reçoivent le *brevet* dont il a été question au commencement de la présente note.

Des prix sont distribués aux élèves ingénieurs et aux externes qui se sont distingués par leurs travaux à l'École

ou par leurs journaux de voyage. Il en est fait mention dans les brevets.

L'Administration de l'École ne saurait *garantir* le placement des élèves externes; mais, par son entremise et ses relations, elle réussit, en général, à procurer des positions plus ou moins avantageuses à la plupart des bons élèves.

BUREAU D'ESSAIS POUR LES SUBSTANCES MINÉRALES.

Un bureau d'essais pour les substances minérales est établi près du laboratoire de l'École des mines depuis 1845; il a pour mission spéciale de faire les analyses de substances minérales qui seraient demandées par les industriels, maîtres de forges et exploitants de Mines. Toute personne désirant obtenir un *essai* doit déposer les échantillons à essayer à l'École des mines, avec une indication de la localité d'où ils proviennent et des circonstances de leur gisement. Aucune rétribution n'est due pour les essais. Tous les ans, un compte rendu des travaux du bureau d'essais est inséré au *Journal officiel*.

NOMENCLATURE DES DOCUMENTS

PRÉSENTÉS PAR L'ÉCOLE NATIONALE DES MINES.

Ministère des travaux publics. — École nationale des Mines. — Institution et but de l'École. Programme d'admission. Paris, 1879, 1 vol. in-4°.

Daubrée. — Études synthétiques de géologie expérimentale. Paris, Dunod, 1879, 1 vol. in-8°.

Gruner. — Traité de métallurgie. Paris, Dunod, 1875-1878; texte, 2 vol. in-8°; planches, 1 vol. in-folio.

Couche. — Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer. Paris, Dunod, 1867-1876; texte, 3 vol. in-8°; planches, 1 vol. in-folio.

Dupont (E.). — Traité pratique de la jurisprudence des mines. Paris, Dunod, 1862, 3 vol. in-8°.

Dupont (E.). — Tableaux géologiques des terrains. Paris, Dunod, 1877, 1 vol. in-4°.

Rivot (E.). — Docimasie. — Traité d'analyse des substances minérales. Paris, Dunod, 1861-1866, 4 vol. in-8°.

Rivot (E.). — Principes généraux du traitement des minerais métalliques. Paris, Dunod. 1871-1873; texte, 3 vol. in-8°; planches, 1 vol. in-folio.

Haton de la Goupillière. — Traité théorique et pratique des engrenages. Paris, Mallet-Bachelier, 1861, 1 vol. in-8°.

Haton de la Goupillière. — Traité des mécanismes, renfermant la théorie géométrique des organes et celle des résistances passives. Paris, Gauthier-Villars, 1864, 1 vol. in-8°.

Moissenet (L.). — Étude sur les filons du Cornwall. Parties riches des filons. Paris, Dunod, 1874; texte, 1 vol. in-8°; planches, 1 vol. in-4°.

Mallard (E.).— Traité de cristallographie géométrique et physique. Paris, Dunod, 1879; texte, 1 vol. in-8°; planches, 1 vol. in-8°.

Résal. — Traité de mécanique générale. Paris, Gauthier-Villars, 1873-1880, 5 vol. in-8°.

Annales des Mines. — Années 1872 à 1878, plus 5 livraisons de 1879, plus un volume de tables générales. Paris, Dunod, 1872 à 1879; 31 vol. in-8°.

Daubrée.— Substances minérales. Paris, Dunod, 1868, 1 vol. in-8°.

Carnot. — Phosphates de chaux de la France analysés au bureau de l'École des Mines, de 1845 à 1877. Paris, Dunod, 1 vol. in-4°.

Carnot. — Minerais de fer de la France et de l'Algérie analysés au bureau d'essais de l'École des Mines de 1845 à 1877. Paris, Dunod, 1878, 1 vol. in-4°.

Carnot. Eaux minérales et eaux potables de la France, analysées

au bureau d'essais de l'École des Mines, de 1845 à 1877. Paris, Dunod, 1878, 1 vol. in-4°.

Fuchs. — Mémoire sur les gisements de plomb argentifère de cuivre et de houille des environs de Meyrueis et Florac (départements du Gard et de la Lozère). Paris, 1874, 1 vol. in-4°.

Haton de la Goupillière. — Revue des progrès récents de l'exploitation des mines et de la construction des machines à vapeur. Paris, Dunod, 1879, 1 vol. in-8°.

Lan. — La métallurgie à l'Exposition de 1878. Paris, Dunod, 1879, 1 vol. in-8°.

Mallard. — Revue des principaux travaux publiés sur la métallurgie pendant les années 1877-78. Paris, Dunod, 1879, 1 vol. in-8°.

Carnot. — Gisement et traitement des minerais de bismuth. Paris, Dunod, 1878, 1 vol. in-8°.

Commission du grisou. — 1° Rapport de M. Haton de la Goupillière, ingénieur en chef des Mines; 2° Rapport de M. du Souich, inspecteur général des Mines; 3° Extraits des procès-verbaux; 4° Pièces annexes. Paris, Dunod, 1879, 1 vol. in-8°.

Callon (J.). — Cours professé à l'École des Mines de Paris. 1re partie : Machines; 2e partie : Exploitation des mines. Paris, Dunod, 1873 à 1879; texte, 5 vol. in 8°; atlas, 2 vol. in-folio.

Fouqué (F.) et Lévy (M.). — Mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France. Minéralogie micrographique, roches éruptives françaises. Paris, Quantin, 1879; texte, 1 vol. in-4°; planches, 1 vol. grand in-4°.

Lapparent (De). — Mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France : Le pays de Bray. Paris, Quantin, 1879, 1 vol. in-8°.

Ministère des travaux publics. — Explication de la carte géologique détaillée de la France. Paris Imprimerie nationale, 1879, 4e vol., 1re et 2e parties, 2 vol. in-4°.

Delesse, Laugel et de Lapparent. — Revue de géologie de 1868 à 1877. Paris, Savy, 15 vol. in-8°.

Delesse. — Lithologie du fond des mers. Paris, Lacroix, 1872; texte et cartes, 2 vol. in-4°.

Ministère des travaux publics. — Carte géologique détaillée de la France, 1re série, 1880. 1 album in-folio.

Carnot. — Tableaux des essais de combustibles minéraux faits au bureau d'essais de l'École des Mines. Paris, 1880, 1 vol. in-8°.

Ruolz. — Question des houilles. Missions en France et en Angleterre. Paris, Imprimerie nationale, 1872-1873, 3 vol. grand in-8°.

Chancourtois (B. de). — Étude d'alignements sur la carte géologique du département de la Haute-Marne. 1 carte, 1862.

Élie de Beaumont et Chancourtois (B. de). — Études stratigraphiques, 1 vol. in-4°.

Chancourtois (B. de). — Octo-planisphère gnomonique. 1878, 1 vol .in-folio.

Chancourtois (B. de). — Unification des travaux graphiques et géologiques. 1873-1875, 1 vol. in-8°.

Chancourtois (B. de). — Unification de travaux graphiques et géologiques. 1878, 1 vol. in-8°.

Chancourtois (B. de). — Coordination des gîtes minéraux. Alignements géologiques. 1863, 1 vol. in-4°.

Chancourtois (B. de). — Sur le réseau pentagonal de M. Élie de Beaumont. 1875, 1 vol. in-8°.

Élie de Beaumont. — Tableaux des données numériques qui fixent le réseau pentagonal. 1863, 1 vol. in-4°.

Chancourtois (B. de). — Sphérodésie graphique. Dessin géométrique sur la sphère. 1875, 1 vol. in-8°.

Chancourtois (B. de). — Alignements géologiques, 1 vol. in-8°.

Chancourtois (B. de). — Alignements géologiques, 1 vol. in-8°.

Chancourtois (B. de). — Imitation des chaînes de montagnes et des cirques volcaniques, 1 vol. in-4°.

Statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en France et en Algérie. — Résumé des travaux statistiques de l'Administration des Mines. 1876-77-78. Paris, Imprimerie nationale, 1880, 1 vol. in-4°.

XLV

STATISTIQUE GRAPHIQUE PAR DÉPARTEMENTS

DES PRINCIPAUX MINERAIS DE FER

ET DES GÎTES DE PHOSPHATE DE CHAUX DE LA FRANCE.

L'Administration de l'École des Mines avait exposé à Paris, en 1878, *deux cartes mosaïques* constituant une représentation figurative des principaux types de minerai de fer et des gîtes de phosphate de chaux de la France.

A cet effet, d'une part, dans un fond plastique figurant la carte de France à l'échelle de $\frac{1}{320\,000}$ avec les divisions départementales, on avait enchâssé, comme dans une sorte de mosaïque, des échantillons de minerais de fer essentiellement cubiques, de 4 centimètres de côté ; pour les minerais pulvérulents ou en grains, on avait remplacé les cubes de minerai par des boîtes cubiques en verre, de même dimension, renfermant les fragments desdits minerais. Les cubes avaient tous été enchâssés à 2 centimètres 1/2 de profondeur, de manière à former au-dessus du fond de plâtre une saillie de 1 centimètre 1/2.

Le même travail avait été fait, dans les mêmes conditions, pour les principaux gîtes de phosphate de chaux de la France.

Les deux cartes mosaïques dont il est question ont été rapportées à l'École des mines de Paris, après l'Exposition universelle; mais des photographies de ces cartes mosaïques ont été faites et deux de ces photographies ont été envoyées

à l'Exposition de Melbourne par l'Administration de l'École des Mines.

Ces photographies permettent de lire, en quelque sorte, la distribution géographique et naturelle, sur le territoire français, des principaux gîtes de minerais de fer et de phosphate de chaux.

Le projet de figurer ainsi à l'œil la géographie statistique des minerais de fer et des phosphates de chaux de la France a été conçu et proposé par M. Dupont, inspecteur général des Mines, inspecteur de l'École des Mines de Paris, et il a été exécuté par lui, avec la collaboration de M. Guyerdet, préparateur des collections géologique et départementale, sous la direction de M. Daubrée, inspecteur général des Mines, directeur de l'École.

XLVI

GÉOLOGIE EXPÉRIMENTALE.

IMITATION DES FAILLES ET DES JOINTS CONGÉNÈRES DANS LEURS FORMES, LEUR PARALLÉLISME ET LEUR RÉPARTITION EN SYSTÈMES ORTHOGONAUX OU CONJUGUÉS,

PAR M. DAUBRÉE,

Membre de l'Institut de France, directeur de l'Ecole nationale des Mines de Paris.

Principaux faits acquis par l'observation relativement aux failles et aux joints. — Les failles ont fixé tout naturellement l'attention des mineurs, depuis que Werner, à la fin du siècle dernier, a démontré que les filons métalliques doivent naissance à leur remplissage. Dans de nombreux districts de filons, elles ont été étudiées dans leurs moindres détails, et elles ont été figurées d'une manière très instructive, tant dans les projections horizontales que dans les coupes verticales. En outre, dans les mines de houille, elles arrêtent à chaque instant le champ d'exploitation, à cause du déplacement relatif des couches, qui s'est produit le long des parois; aussi dans un grand nombre de bassins houillers, leurs caractères ont-ils été étudiés géométriquement de la manière la plus précise, et il n'en est guère qui n'aient fourni à cet égard des renseignements caractéristiques. Ici encore la pratique a fourni des données précieuses pour la théorie.

En dehors des exploitations de mines, les failles ont été

aussi fort étudiées, car elles jouent un rôle de premier ordre dans l'écorce terrestre, qu'elles divisent en innombrables compartiments, en des sortes de voussoirs ; elles forment comme des linéaments auxquels se coordonnent les traits du relief terrestre.

Les fissures que l'on a désignées sous le nom de *joints*, quoique de dimensions en général moindres que les failles, ont été aussi remarquées depuis longtemps, soit à cause de leur grand nombre, soit surtout dans les cas où elles s'entrecoupent par systèmes parallèles et assez réguliers pour simuler une cristallisation. Ces dispositions, que l'on a nommées pseudo-régulières à cause de cette ressemblance, se rencontrent dans des roches de natures variées. Tels sont particulièrement le quartzite, le grès quartzeux, le phyllade, le calcaire, la houille et le granit, où les parallélépipèdes sont souvent rectangulaires. Il n'est pas rare que les joints permettent de diviser la roche en polyèdres très petits, de manière à rappeler ce qui arrive dans le clivage des cristaux proprement dits.

Sans présenter cette disposition en parallélépipèdes, les joints peuvent offrir une symétrie remarquable : tel est le cas pour les polyèdres de granit que Ramond rencontra au sommet du mont Perdu, dont il mesura les angles avec soin et qu'il figura comme pouvant être des produits de cristallisation.

Ailleurs, les joints se coupent sans régularité apparente, mais ils sont si nombreux, que l'on ne peut obtenir de cassures fraîches de la roche, lors même qu'on l'a divisée en très petits fragments : tel est, par exemple, le calcaire crétacé dans une partie de la chaîne des Corbières.

Quelque nombreuses que soient les études dont les failles ont été de toutes parts l'objet, tant dans leurs formes que dans leur mode de groupement, la cause de ces grandes fractures reste encore inconnue.

Des suppositions vagues ont été émises à leur égard : on les a attribuées, par exemple, à des actions moléculaires exercées sur l'enveloppe externe du globe par les masses chaudes et pâteuses qui la supportent. C'est principalement à cause de cette obscurité que de Boucheporn a été conduit à chercher l'explication de leur parallélisme si caractéristique dans une hypothèse des plus hardies, en les attribuant à des ruptures opérées parallèlement à d'anciens équateurs que notre planète aurait successivement possédés, dans ses changements d'axe de rotation.

La même ignorance règne sur l'origine des joints. Les explications qu'on a essayé d'en donner peuvent se réduire à trois : une sorte de cristallisation, un retrait, des actions mécaniques.

C'est avec plus de fondement qu'on a attribué à des actions mécaniques les joints de la catégorie de ceux qui nous occupent.

1° La constance, sur de grandes étendues, de l'orientation de certains systèmes de joints a été déjà constatée par Sedgwick, de la Bèche, Phillips et d'autres. De plus, il a été reconnu, en Cornouailles, que ces joints conservent leur direction en passant du granit dans les schistes. Après avoir observé ces deux faits avec la perspicacité qui le caractérisait, de la Bèche en avait conclu que les joints ne pouvaient résulter d'un retrait, et il les attribuait à des actions polaires, comme on le faisait alors pour la schistosité. Si

l'on tient compte de ce que l'on sait aujourd'hui, cette permanence d'orientation dans les joints doit, au contraire, les faire rapprocher des failles, dont l'origine mécanique n'est pas mise en doute et qui jouissent d'une indépendance du même genre.

On sait, d'ailleurs, que dans beaucoup de contrées les joints se rattachent, par divers intermédiaires, aux failles proprement dites.

2° La direction des joints dans l'Yorkshire a été l'objet d'un grand nombre d'observations de la part d'un autre éminent géologue, John Phillips, qui les a rassemblées dans une rose des directions ; il en résulte que deux directions prédominent beaucoup par rapport aux autres, et que ces deux directions sont perpendiculaires entre elles.

3° Un fait caractéristique est consigné dans un mémoire très intéressant de M. Harkness sur les joints des environs de Cork (Irlande), c'est que dans leur voisinage les fossiles sont déformés et distordus, caractère signalé aussi dans d'autres localités et rappelant des efforts mécaniques.

C'était déjà un résultat important que d'être arrivé à considérer les joints comme des effets de rupture, de même que les failles, qui en diffèrent surtout par leurs dimensions. Toutefois, jusqu'à présent, on n'avait pu formuler que des conceptions très vagues sur la cause de ces ruptures. Ainsi M. Harkness, après avoir dit que le calcaire carbonifère des environs de Cork a été soumis à des forces considérables qui en ont infléchi et contourné les couches, estime que ces forces ont, en même temps, déterminé certains systèmes de joints et un clivage : cependant, il ajoute que de simples pressions ne peuvent rendre compte de l'ensemble com-

plexe de joints qui se rencontre fréquemment dans les calcaires.

4° Il est encore un caractère qu'il convient de ne pas perdre de vue, et qui vient s'ajouter aux considérations précédentes en faveur de l'origine mécanique des joints.

Lorsque les joints traversent des poudingues ou des conglomérats, on remarque fréquemment qu'en se produisant ils coupent en deux, de la manière la plus nette, les cailloux de quartz ou de porphyre qu'ils rencontrent. Ce fait, que j'ai eu occasion de constater très souvent dans le grès des Vosges, par exemple dans les escarpements qui forment le sommet du Schneeberg, est très fréquent dans le conglomérat porphyrique, en forme d'obélisques, qui supporte le vieux château de Baden-Baden. Sur les faces des cailloux ainsi tranchés, on remarque souvent un enduit de quartz cristallisé. On peut encore citer comme fait analogue le conglomérat de l'« Old red sandstone » de Waterford (Irlande). Une action énergique, tranchante ou de cisaillement, s'est donc opérée lors de la formation des joints.

En résumé, le trait caractéristique qui se manifeste dans d'innombrables fissures de l'écorce terrestre, c'est un parallélisme qui se reproduit dans les grandes comme dans les petites fractures, dans les failles comme dans les joints. Or, ce fait fondamental n'avait pas encore pu être reproduit par l'expérience.

L'analogie qui montre dans les joints une sorte de diminutif des failles faisait espérer que le problème général pouvait être abordé expérimentalement, bien que ces dernières surfaces de rupture dépassent souvent des dizaines de kilomètres.

Cassures produites sur une croûte mince par un mouvement ondulatoire. — Un procédé que j'ai d'abord employé consiste à se servir d'un mouvement ondulatoire, qui brise une plaque très mince à travers laquelle il se propage. Ainsi, si l'on fait vibrer un vase rectangulaire contenant une dissolution de bicarbonate de chaux, à la surface de laquelle s'est concrétée, par décomposition, une pellicule de calcaire, on voit cette sorte de membrane se déchirer. Les ondulations se propagent parallèlement aux petits côtés; il se produit des déchirures, dont les principales ont une tendance à épouser les directions des bords du vase et par conséquent à être perpendiculaires entre elles. Mais ce résultat, tout en méritant l'attention, n'explique pas les principaux faits géologiques qui viennent d'être rappelés.

Trois autres procédés ont eu pour but de reproduire les cassures terrestres dans leurs caractères principaux; deux d'entre eux ont même permis d'imiter les failles et leurs joints congénères, dans leurs formes, leur association, leur parallélisme et leur répartition en systèmes orthogonaux ou conjugués. Ceux-ci mettent en œuvre une torsion et une déformation par simple pression. Dans le troisième, la cassure est consécutive de ploiements.

Cassures obtenues par torsion. — Ce qui m'a guidé, c'est l'idée préconçue qu'en infléchissant une plaque mince, d'abord plane, de manière à lui donner la forme d'une surface réglée, on arriverait à la briser suivant des lignes droites qui seraient en rapport avec les génératrices de cette nouvelle surface.

Une plaque de la substance à examiner, en forme de rectangle très allongé, est saisie par l'un de ses petits côtés, entre deux mâchoires de bois serrées à vis, formant comme un étau (fig. 1); l'autre extrémité est encastrée dans un tourne-à-gauche, où elle est également calée avec une interposition de carton.

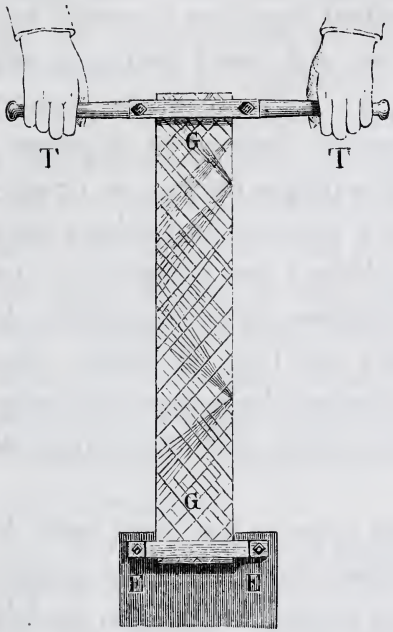


Fig. 1. — Appareil destiné à produire la rupture d'une lame de glace par torsion.

En faisant mouvoir le tourne-à-gauche autour d'un axe horizontal, on détermine une torsion qui ne tarde pas à provoquer une rupture.

Une première série d'essais faits sur des plaques de gypse ayant 12 millimètres d'épaisseur ont donné un petit nombre de cassures; cependant, dans certains cas, on a obtenu des cassures ayant une tendance marquée à être parallèles entre elles, tandis que d'autres leur étaient à peu près perpendiculaires.

Avec les plaques de glace, les essais ont été plus heureux. Ces plaques ont 80 à 90 centimètres de longueur sur 350 à 420 millimètres de largeur et 7 millimètres d'épaisseur. Pour chaque expérience, la plaque était enveloppée de papier collé qui empêchait les fragments pro-

duits de se séparer; sans cette précaution, il eût été bien difficile de constater la disposition des fractures.

Dans chacune de ces plaques rectangulaires de glace, il se produit, en même temps que la rupture, des fissures en très grand nombre. Malgré leurs courbures et leurs inflexions, ces fissures présentent dans leur ensemble une disposition dans laquelle on ne tarde pas à distinguer une régularité géométrique (fig. 1). Cette régularité ressort surtout si l'on se place à quelque distance de la plaque, ou si, au lieu de considérer une plaque unique, on en examine une série, de manière à prendre en quelque sorte une moyenne des résultats. Malgré des irrégularités, on reconnaît immédiatement l'existence de deux systèmes de directions, également inclinés sur l'axe de torsion. Sur chacun d'eux apparaissent cependant des groupes rayonnés, en éventails aigus, dont les rayons sont respectivement parallèles entre eux.

Tandis que la plupart des cassures traversent toute la plaque, quelques-unes se perdent dans l'intérieur; d'autres s'arrêtent brusquement à des figures conjuguées, au delà desquelles elles ne se prolongent pas, formant ainsi des séries de tronçons en échelons, disposition très fréquente dans la nature.

1° Les fissures dont il s'agit consistent en surfaces gauches, de formes assez variées, dont les traces sur les grandes faces de la plaque, que je désignerai sous le nom d'*affleurements*, s'éloignent peu d'une ligne droite et ont une tendance évidente au parallélisme.

2° De plus, ces fissures se groupent suivant deux directions ou systèmes que l'on peut qualifier de conjugués, et

constituent ainsi un réseau dont les mailles sont plus ou moins serrées, suivant les plaques; on y aperçoit beaucoup de croisements donnant naissance à des losanges.

En général, les deux systèmes conjugués se croisent sous des angles très ouverts, dont la valeur paraît dépendre des dimensions relatives des deux côtés de la plaque; cet angle, qui est souvent voisin de l'angle droit, se réduit, dans d'autres cas, à 70 degrés et même à moins.

3° Les intersections ou nœuds formés par les fissures principales de ce réseau ont une tendance à se répartir suivant des droites parallèles aux grands bords de la plaque. Dans les conditions où l'on a opéré, lorsque ces droites ne sont qu'au nombre de deux, elles sont ordinairement à une faible distance des bords; lorsqu'elles sont au nombre de trois, l'une d'elles se confond avec la ligne médiane, et les deux autres sont symétriques par rapport à elle. Les dessins en zigzag qui correspondent à chacun de ces deux types sont très réguliers.

4° Si l'on considère la manière dont la surface de chacune de ces fissures est inclinée sur les grandes faces, on voit que pour une même fissure la ligne de plus grande pente est très variable, et, de plus, qu'elle varie de sens. Ce sont des inflexions comme il s'en rencontre souvent dans les failles. L'inclinaison varie également beaucoup : elle peut atteindre au moins 50 degrés de chaque côté de la verticale [1].

Toutes ces circonstances se trouvent approximativement représentées géométriquement si l'on considère la surface

[1] Près des bords de la plaque, la fissure se rapproche ordinairement de direction normale.

de ces fissures comme un paraboloïde ou comme un plan-gauche.

5° Dans certains groupes de fissures, il est une sorte de parallélisme qui se manifeste, non seulement pour leurs traces, mais aussi pour les surfaces elles-mêmes. Un certain nombre de fissures, six, huit, ou même plus, participent à ce parallélisme, comme il arrive dans la nature.

6° Sur diverses plaques, au lieu d'une fissure unique, il s'est formé un groupe de fissures dessinant un éventail peu ouvert; on en voit plusieurs qui partent d'un point unique et sont comprises sous un angle de moins de 25 degrés.

7° Parmi les fissures dont il vient d'être question, il en est, mais en petit nombre, qui ont déterminé la séparation complète ou une véritable cassure. Pour la plupart, il y a encore adhérence; ce sont de simples fissures présentant elles-mêmes plusieurs types : tantôt elles traversent la plaque sur toute sa longueur; tantôt, coupées et déviées par d'autres fissures, elles n'occupent qu'une partie de la plaque; tantôt l'une de leurs extrémités n'atteint ni les bords ni une autre fissure et se perd dans la masse; tantôt enfin ces fissures sont tout à fait *intérieures*, c'est-à-dire qu'elles n'arrivent nulle part jusqu'à la surface de la plaque.

Les fissures appartenant à ces divers types, particulièrement les plus courtes et les plus fines, ainsi que les cassures proprement dites, sont soumises aux conditions générales de parallélisme qui viennent d'être énoncées.

8° En outre, en examinant avec attention certaines plaques de glace, on reconnaît à la surface des lignes droites très fines, comme des traits de burin, qui sont parallèles aux fissures et souvent plus régulières que celles-ci. Elles

correspondent à des fêlures extrêmement fines; la réflexion qui s'opère sur leurs parois les fait apercevoir, à peu près comme il arrive dans certains cristaux très clivables ou dans les pierres gemmes, où on les désigne sous le nom de *glaces*. Ce sont des indices d'une sorte de clivage, dont on peut constater directement l'existence par le choc; il apparaît alors des faces planes et parallèles, ordinairement perpendiculaires aux grandes faces des plaques.

Soumises à l'action de la lumière polarisée, ces fissures naissantes présentent sur leurs bords, et surtout vers leurs extrémités, des indices d'illumination extrêmement nets et souvent très énergiques.

Cassures obtenues par une simple pression. — Chaque jour on soumet, dans un but pratique, des pierres à une forte pression, et on sait alors comment s'opèrent les ruptures. En général, une pierre taillée en forme de cube a une tendance à se briser suivant des pyramides. Cependant les pierres dites *dures*[1] peuvent donner les fissures perpendiculaires au plan de pression et souvent à peu près parallèles. Mais le degré de consistance de la masse a beaucoup d'influence sur les résultats.

Les corps à la fois cassants et flexibles, dans les cassures qu'ils éprouvent par glissement, me paraissent devoir attirer l'attention du géologue.

De même que lorsqu'il s'était agi de produire des ploiements, j'ai expérimenté sur des substances de cette sorte,

[1] Le calcaire crétacé de Cruas (Ardèche) est dans ce cas, ainsi que les calcaires carbonifères exploités.

de manière à me rapprocher le plus possible des phénomènes naturels. C'étaient des mélanges de plâtre et de cire d'abeilles avec une certaine quantité de résine, constituant un mélange analogue à ce que l'on connaît sous le nom de *mastic à mouler*. Des expériences ont été faites à l'aide de la presse hydraulique sur des prismes formés de ce mastic. Ces prismes, à base carrée, avaient été fondus avec beaucoup de soin, de manière à être aussi homogènes et aussi exempts de cavités que possible, puis régularisés, après la fusion, par un rabotage, afin que leurs faces fussent bien rectangulaires; ils avaient 14 centimètres de côté sur 30 à 33 centimètres de hauteur. Les plaques de pression avaient exactement les dimensions des bases de prismes, afin qu'à la suite de la rupture certains déplacements pussent se produire.

1° La pression détermine bientôt une fente presque plane et oblique à cette pression (fig. 2); l'incidence sur la verticale ne s'éloigne pas beaucoup de 45 degrés. Cette fente, partant de l'une des arêtes horizontales supérieures, s'agrandit graduellement, jusqu'à ce qu'elle ait gagné la face opposée, de manière à détacher un prisme triangulaire. Puis un glissement commence à se produire sur le plan incliné qui vient de se former, et cette dénivellation continue, si l'on n'arrête pas l'expérience pour examiner les effets produits. La face de rupture, au lieu d'être tout à fait plane, présente des aspérités; il en résulte, après le rejet, des alternatives de renflement et d'étranglement, comme en offrent la plupart des filons métallifères.

Une seconde cassure (fig. 3), également oblique et symétriquement placée par rapport à la première, s'est formée

à partir de l'arête inférieure, et s'est prolongée jusqu'à sa rencontre avec la précédente.

Quelquefois, de ces fentes principales se détachent des ramifications ou branches.

2° Outre les fentes principales, une très nombreuse série

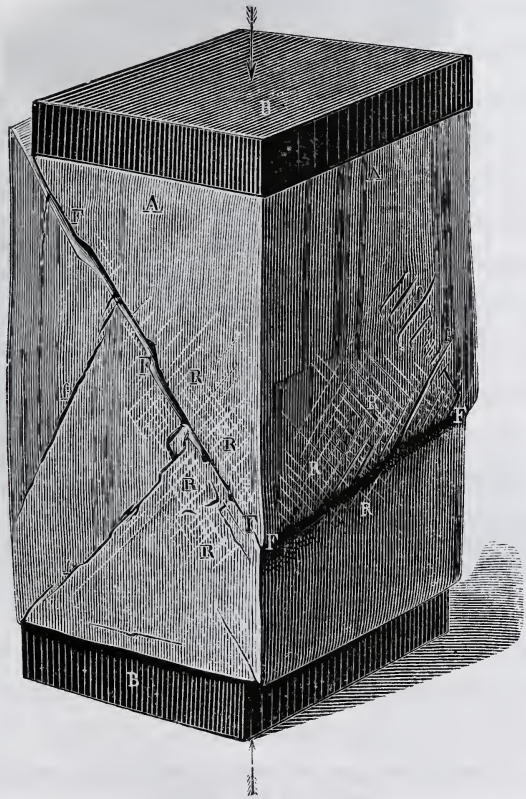


Fig. 2. — Prisme de cire à mouler, soumis à l'action de la presse hydraulique suivant le sens vertical.

de fissures rectilignes et parallèles se manifeste sur chacune des faces, qui, dans une partie de leur étendue, se sont

légèrement bombées (fig. 2 et 3), par suite d'un commencement d'écoulement de la substance. Ces fissures n'ont qu'une épaisseur très faible; beaucoup ne se décèlent que

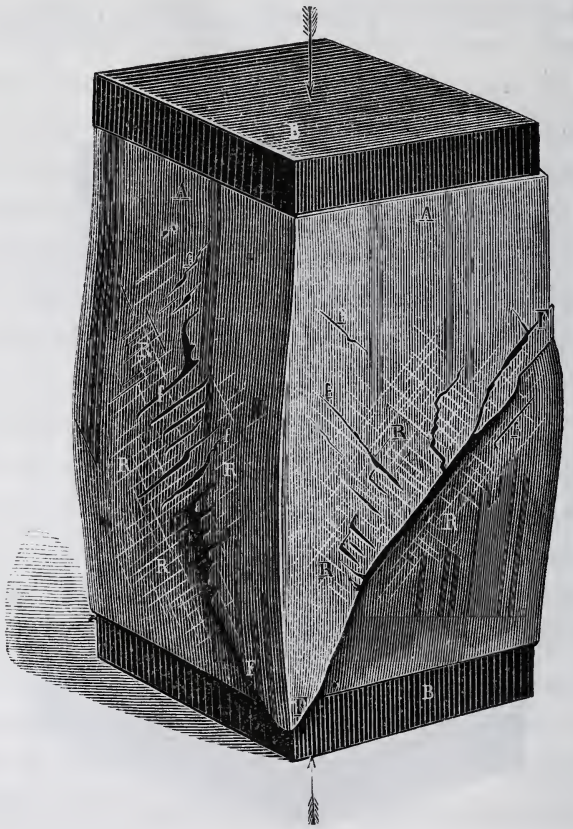


Fig. 3. — Prisme de cire à mouler soumis à l'action de la presse hydraulique suivant le sens vertical.

par des lignes si fines et si régulières qu'on pourrait les croire tracées au burin.

Ces fissures se groupent suivant des directions qui sont parallèles aux fentes principales et sont à peu près rectan-

gulaires entre elles; elles forment un réseau à mailles serrées. Toutes fines qu'elles sont, elles sont fort nettes; elles sont aussi fort nombreuses; car on peut en compter de 60 à 70 dans chaque direction, sur une étendue de 90 à 120 millimètres. De plus, en examinant à la loupe, on distingue, au milieu des fissures très apparentes, des traits plus fins, exactement parallèles aux premiers et non moins réguliers que ceux-ci. Le tout rappelle un quadrillé ou un tissu formé de fils ténus et disposés rectangulairement.

La masse ainsi fendillée est devenue clivable.

Tandis que les fentes principales sont comparables aux failles, les fissures plus ou moins fines peuvent être assimilées aux faces de joint et de clivage, si fréquentes dans les roches. Les fissures fines, disposées en réseau, résultent d'un commencement d'écoulement de la substance et des glissements qui ont accompagné les déformations de la masse, quelque faibles que soient ces dernières. En certaines parties, la division de la masse se fait en fragments prismatiques et peu adhérents qui, ainsi désagrégés suivant des alignements généraux, sont comme préparés à une démolition ultérieure.

3° En outre, la déformation fait naître quelques déchirures béantes ou gerçures, qui se rattachent par le parallélisme aux fentes et fissures simultanément produites.

4° Toutes ces fissures de divers ordres se groupent nettement suivant deux systèmes parallèles aux fentes principales; elles sont inclinées d'environ 46 degrés sur la direction de la pression. Ces deux systèmes, qui sont antiparallèles, ont, comme on vient de le voir, une tendance manifeste à être perpendiculaires l'un à l'autre ou orthogonaux.

Je les désignerai, comme les cassures obtenues par torsion, sous le nom de *systèmes conjugués*.

5° Je ne mentionne ici que pour mémoire un système de rides produites normalement à la pression.

L'un des systèmes de cassures peut prédominer beaucoup par rapport à l'autre; cette prédominance paraît surtout manifeste pour les plus grandes surfaces de rupture.

Cassures consécutives des ploiements. — Dans diverses déformations, telles que des ploiements, il peut se

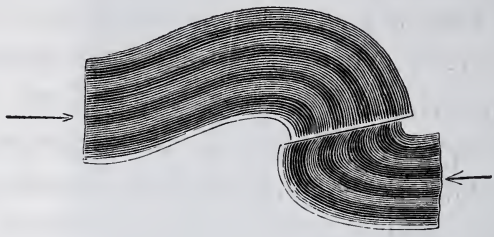


Fig. 4. — Prisme composé d'une série de couches de cire différemment colorées et soumises à des pressions indiquées par les flèches. Production d'une fracture avec glissement consécutive à l'inflexion.

produire non seulement des ruptures par extension, en forme de V, mais aussi des ruptures par glissement. Des prismes, dont la longueur est beaucoup plus grande que la largeur, étant comprimés dans le sens de leur longueur, s'infléchissent pendant quelque temps, puis se rompent parfois sous l'action des mêmes pressions, par l'effet d'un glissement moléculaire. La rupture se fait alors suivant un plan qui est ordinairement oblique sur la surface des couches. De plus, si la pression continue encore, il peut arriver que les deux parois de la fracture glissent l'une sur

l'autre, et même se strient mutuellement, en simulant une faille. Une fois ce mouvement de glissement commencé, il

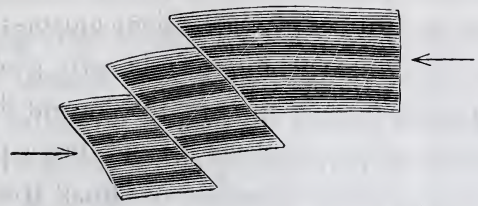


Fig. 5. — Production sur le prisme de la figure 4 d'un système de deux failles parallèles entre elles, également consécutives à l'inflexion des couches. Dans ce cas, le sens du rejet est contraire à l'action de la pesanteur.

se poursuit indéfiniment, si la pression qui a causé la face de rupture persiste elle-même (fig. 4 et 5).

DÉDUCTIONS DES EXPÉRIENCES
EN CE QUI CONCERNE LES CASSURES SOUTERRAINES.

Les résultats des trois séries d'expériences qui précèdent paraissent trouver diverses applications géologiques, tant dans les cassures souterraines que dans les effets qui en résultent pour le relief topographique et géographique du sol, et peut-être aussi dans les crevasses des glaciers. J'ajouterai les renseignements suivants à ceux qui viennent d'être signalés.

Formes et dispositions des failles. — Dans leurs traces horizontales, considérées à des niveaux différents, de même qu'à leurs affleurements, les failles présentent des configurations semblables à celles qui résultent des expériences précitées. Comme exemples, je rappellerai les failles du massif de la Côte-d'Or, qui ont été relevées avec beau-

coup de soin, tant en plan qu'en coupes verticales, par M. Guillebot de Nerville; celles de la Haute-Marne, relevées par MM. Élie de Beaumont et de Chancourtois; celles qui sont figurées sur diverses feuilles de la carte géologique de l'Angleterre, etc. Ces failles présentent souvent des surfaces gauches infléchies comme les fissures produites par torsion.

Un caractère de parallélisme se reconnaît très généralement dans des groupes de failles et de filons, non seulement aux affleurements, mais aussi sur le plongement[1].

Formes et dispositions des joints. — Le parallélisme se manifeste non moins clairement dans les joints.

Les escarpements verticaux des falaises de la Normandie, qui atteignent une hauteur de 100 mètres et qui sont facilement accessibles à marée basse, offrent une occasion singulièrement favorable pour l'étude des joints.

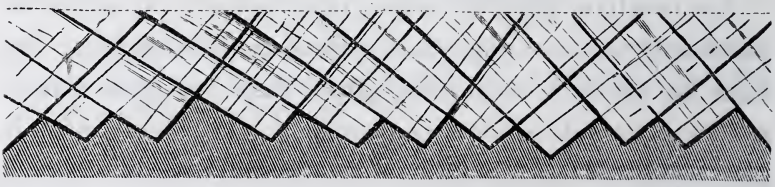


Fig. 6. — Détail, en plan, de la disposition des joints qui traversent, suivant deux directions principales, la falaise du Tréport, et qui, en servant de guides aux actions érosives, ont déterminé la formation des cavernes près du niveau de la mer.

Grâce aux démolitions qui se sont produites le long des plans de fractures, les joints ne sont pas visibles seulement sur le plan vertical; ils sont aussi reconnaissables dans leur direction et dans leurs formes. En relevant avec soin à la

[1] Filons des consols en Cornouailles; filons du district de Maria-Adalbert, à Przibram (*Ann. des Mines*, 6e série, t. XV, pl. 3).

boussole tous les joints que l'on peut nettement observer sur une longueur d'environ 14 kilomètres, du bourg d'Ault à Jolibois, près de Mesnil-Val, on y reconnaît des directions

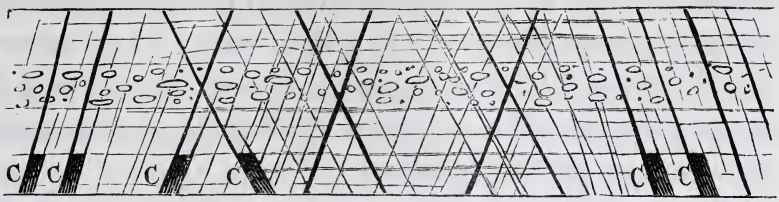


Fig. 7. — Détail en coupe des joints représentés dans la figure 6.

variées, au milieu desquelles il en est deux qui prédominent : leurs moyennes sont respectivement N. 50° E. et N. 127° E. Ainsi considérés, tant en plan horizontal qu'en coupe verticale, ces joints constituent deux systèmes dont l'ensemble donne l'idée d'un réseau.

Il en est de même aux environs de Fontainebleau, dont le sol, comme on sait, est composé de sables tertiaires, ainsi que de couches de calcaire lacustre, dont les unes sont inférieures, les autres supérieures à ce sable. En général, tout à fait incohérents, ces sables sont çà et là agglutinés sous forme de grès, principalement à leur partie supérieure, par un ciment qui est tantôt calcaire et tantôt siliceux. De là, des masses mamelonnées, tuberculeuses et aplaties dans le sens de la stratification, dont les dimensions horizontales sont très diverses, depuis quelques mètres, et formant alors des *tables,* jusqu'à plusieurs centaines de mètres en tous sens, présentant, lorsque le calcaire supérieur a été enlevé, des plateaux rocheux nommés *plattières.*

Partout où le grès se montre en place, il est traversé par des joints ou diaclases. La plupart de ces diaclases sont

planes ou faiblement ondulées, à peu près verticales, et coupent très nettement le grès sur toute son épaisseur. Tandis que quelques-unes se perdent dans le sens horizontal, au bout de quelques mètres, on en voit d'autres se continuer, sans changer de caractère, sur 80 à 100 mètres et davantage. Elles sont souvent si minces, qu'elles sont à peine reconnaissables sur leurs tranches et qu'elles ne se révèlent que par l'exploitation.

En examinant ces grès, soit dans des escarpements naturels tels que les gorges d'Apremont ou les gorges de Franchard, soit dans les nombreuses carrières où ils sont exploités depuis plus de cinq siècles, j'ai reconnu que les joints les plus nets et les plus étendus présentent des directions à peu près constantes, non seulement dans une même carrière ou dans un même groupe de carrières, mais dans toute l'étendue de la forêt. C'est ce qui résulte clairement de plusieurs centaines de mesures que j'ai prises sur une étendue superficielle d'environ 180 kilomètres carrés. La direction prédominante varie entre N. 95° E. et N. 118° E., et a pour moyenne N. 105° E. Une même diaclase, même quand on ne la considère que sur une vingtaine de mètres, dévie très fréquemment de 15 à 20 degrés. Les écarts autour de la moyenne s'expliquent donc facilement, et il est même remarquable que ces écarts soient aussi restreints.

A part ces diaclases principales (système A), il en est d'autres (système B) qui leur sont à peu près perpendiculaires et que les ouvriers, en opposition avec le nom de *joints en long* qu'ils donnent aux premières, désignent sous le nom de *joints en travers*. Celles-ci sont moins régulières et plus contournées que les premières, qui les arrêtent quel-

quefois; elles sont aussi moins nombreuses. Leur direction moyenne est N. 12° E.

Tandis que les diaclases du système principal sont à une distance mutuelle qui ne dépasse guère 4, 6 et atteint rarement 10 mètres, celles du second système sont souvent plus éloignées. Sur quelques points, notamment au Long-Rocher et au rocher du Long-Boyau, elles sont distantes de 70, 80 et 90 mètres, ainsi que permettent de l'observer de vastes surfaces mises à nu par l'exploitation.

Il y a donc deux systèmes de diaclases, à peu près perpendiculaires entre elles.

D'après la constance de direction qui règne sur de grandes étendues, les diaclases du grès, dans la forêt de Fontainebleau, ne peuvent être considérées comme des effets de retrait. Cette conclusion serait confirmée, s'il était nécessaire, par la persistance de la même direction dans les couches de calcaire voisines du grès, direction qui se montre ainsi indépendante de la nature minéralogique de la roche.

De même que les failles, dont elles offrent les caractères de parallélisme, ces diaclases ne peuvent résulter que d'actions mécaniques exercées extérieurement aux massifs et qui se sont produites, soit lorsque ces masses ont été portées au-dessus du niveau de la nappe d'eau sous laquelle elles ont été déposées, soit dans des mouvements ou tassements ultérieurs. C'est, en un mot, un système de cassures semblables, pour la disposition et pour l'origine, à celles que l'on peut obtenir artificiellement dans une plaque par une faible torsion. De part et d'autre, les irrégularités sont de même nature.

La circonstance que, dans la nature, les diaclases d'un des systèmes sont souvent arrêtées par celles du système principal n'empêche pas de supposer qu'elles soient contemporaines, peut-être à quelques instants près. C'est aussi ce qu'imitent et expliquent les expériences.

Fréquence probable des effets de torsion dans la nature. — D'après ce qui précède, une ressemblance manifeste rapproche de nombreuses cassures, de divers ordres de grandeur, qui traversent l'écorce terrestre, et les cassures produites sur des plaques minces par une torsion. Dans les unes et dans les autres, on remarque un grand nombre de fentes rectilignes, groupées parallèlement entre elles; de part et d'autre, ces séries de fentes parallèles se groupent en deux ou plusieurs systèmes, orientés suivant des directions différentes, de manière à constituer des réseaux. Cette ressemblance dans les effets peut faire supposer une certaine analogie dans les causes.

Ce rapprochement est d'autant plus autorisé, que l'on arrive à reconnaître directement que des effets de torsion ont pu et même ont dû se produire dans l'écorce terrestre.

Lamé, dans le chapitre où il a appliqué la théorie mathématique de l'élasticité à l'écorce terrestre, conclut que cette enveloppe, sous la simple action de fortes pressions intérieures, de la pesanteur et des pressions extérieures, peut avoir subi des torsions[1]. A part ces considérations mathématiques, les déformations sans nombre qu'a subies

[1] Car, si l'on considère des forces dans un plan vertical séparant deux massifs, ces forces peuvent être une traction dans une partie du plan, et dans l'autre une pression.

l'écorce terrestre pendant de très longues périodes conduisent à admettre qu'il a dû s'opérer des torsions dans beaucoup de ses parties. Les pressions latérales ou horizontales d'une extrême énergie, dont on constate de toutes parts les preuves manifestes, n'ont pu sans doute, à moins de circonstances exceptionnelles, s'exercer avec une symétrie telle que les forces contraires, qui étaient en présence, n'aient pas causé de torsions.

Cette conclusion sur la possibilité de torsions fréquentes ressort, d'une manière plus précise, de l'examen des inflexions diverses et des formes tourmentées que l'on a constatées dans plusieurs bassins houillers du centre de la France, où les allures des couches ont été exactement reconnues par les travaux d'exploitation : par exemple, dans le bassin de Saint-Étienne, aux environs de La Ricamarie, où, en quelques points, les ploiements ont fait disparaître le parallélisme des couches; ceux du Creusot, de Montceau et de Montchanin (Saône-et-Loire), de Commentry et de Bezenet (Allier), de Saint-Éloi (Puy-de-Dôme), de Decazeville (Aveyron), du Pas-de-Calais, et bien d'autres, montrent des couches comprises entre des surfaces gauches et sinueuses, souvent très irrégulières, et des couches de houille dites en *chapelet;* les renflements de ces couches, séparées les unes des autres par des étranglements ou *serrées*, paraissent déceler les effets d'une torsion. Les exploitations d'ardoises des environs de Fumay, par exemple, ont fait reconnaître des ploiements non moins compliqués.

De toutes parts, même dans les régions où les couches semblent planes, comme dans le Nord de la France, il s'est opéré des gauchissements : des torsions ont pu se produire

dans ces transformations diverses, quelque faibles qu'elles paraissent, et lors même qu'elles auraient été causées par de simples tassements ou porte-à-faux opérés sous l'action de la pesanteur. Dans ce dernier cas, bien plus que dans celui de dislocations violentes et d'énergiques poussées latérales, le rejet des failles a dû se faire dans le sens de l'action de la pesanteur.

D'ailleurs, sans qu'il y ait à recourir à des suppositions, il est de très nombreuses failles qui ont conservé l'empreinte d'une torsion, non seulement dans leurs formes gauches, mais aussi dans les rejets contraires qu'elles ont produits. On y voit, en effet, le rejet varier d'amplitude pour une même paroi de la faille, lorsqu'on en suit le parcours en direction, et il n'est pas rare que l'une des deux parois ait subi, ici une élévation relative, là un abaissement. Ces failles à rejets contraires (positif et négatif) ont un point intermédiaire ou nœud où le rejet est nul; aussi les mineurs de certaines localités les désignent-ils sous le nom de *failles à charnières*.

Parmi les actions mécaniques de nature très variée et les écrasements latéraux que l'écorce terrestre a subis de toutes parts, l'expérience nous amène donc à considérer la torsion comme l'une des causes probables, si ce n'est certaines, d'un mode de fracture qui est très répandu, notamment dans les joints et dans les failles. C'est une donnée que l'expérimentation apporte à la solution du problème général.

Convenance de dénominations spéciales pour les divers ordres de cassures. — Au milieu des cassures de formes et d'origines variées qui traversent en tous sens

l'écorce terrestre, il est certains types qu'il paraît utile de caractériser nettement et de coordonner.

Il en est qui ont été produites par *retrait :* telles sont celles des prismes bien connus dans les roches volcaniques. D'autres sont des plans de *clivage,* qui se rapportent à la schistosité et dont il sera question plus loin.

Mais les plus importantes des cassures paraissent dues à un *glissement* moléculaire et se rattachent à des *pressions,* dont la première cause doit être cherchée en dehors de la roche elle-même; ces dernières cassures sont du genre de celles qui ont laissé leurs énergiques empreintes dans les ploiements des roches stratifiées et dont les failles sont les représentants les mieux connus.

Ces cassures ont, en général, reçu le nom de *joints,* nom également adopté par les géologues anglais[1] et dont j'ai dû me servir dans tout ce qui précède. Ce nom, emprunté à l'architecture, où il désigne les plans suivant lesquels on a assemblé les assises d'une construction, paraît inexact lorsqu'il s'agit, au contraire, de faces de rupture, auxquelles le nom de *disjoint* serait mieux adapté. On peut y substituer un nom à la fois plus juste et plus compréhensible dans différentes langues : tel est celui de *diaclase*[2].

Les nombreux faits qui unissent, par une relation intime et originelle, les joints aux failles, et qui appartiennent également au domaine de l'observation et à celui de l'expérience, conduisent à rappeler cette commune origine par

[1] En allemand : *Kluft, Risse, Spalte, Absonderungsflache.*

[2] De διά, à travers, marque de division, et de κλάω, briser, diviser : fissure par brisement.

une similitude de nom. Celui de *paraclase*[1] exprime que la cassure est accompagnée d'un déplacement. Sans prétendre le substituer à celui de *faille*, qui est si répandu[2], je crois devoir le présenter, pour la double raison d'une symétrie avec le nom de *diaclase*, et, comme pour le premier, d'une étymologie rationnelle.

Enfin les diaclases et les paraclases constituent deux grands groupes dans les cassures qui nous occupent, auxquelles convient le nom général de *lithoclase*.

APPLICATION DE LA MÉTHODE EXPÉRIMENTALE À L'ÉTUDE DES CARACTÈRES DE DIVERS ORDRES QUE PRÉSENTE LE RELIEF DU SOL.

L'influence fondamentale que la constitution géologique exerce sur la configuration de la surface du sol se manifeste partout, avec plus ou moins d'évidence, soit que l'on considère les grandes masses dans l'ensemble de leur agencement, soit qu'on analyse les détails de leurs formes. Sans le secours des lumières apportées par la géologie, il est impossible de comprendre les contours et le relief des continents, non plus que beaucoup de leurs caractères topographiques.

Mais si les différences que les massifs de roches présentent dans leur nature minéralogique ainsi que dans leur juxtaposition originaire ont une large part dans la physionomie de chaque contrée, les actions que ces roches ont subies *postérieurement* à leur formation jouent aussi un rôle

[1] De παρά, préposition qui exprime ordinairement *obliquité, latéralité;* et de κλάω. Le mot s'applique bien à une fissure accompagnée de l'abaissement de l'une des parois par rapport à l'autre, comme il arrive dans les failles.

[2] En anglais : *fault;* en allemand : *Verwerfung, Verwerfungsspalte, Spring*, etc.

fort important. Ces actions postérieures, quoique de nature complexe, peuvent se résumer en *cassures* et en *érosions*.

Influence bien connue des paraclases sur le relief du sol. — En ce qui concerne les failles proprement dites ou paraclases, l'influence qu'elles peuvent exercer sur le modelé général du sol est bien connue, et le géologue les reconnaît fréquemment aux anomalies qu'elles causent dans le relief.

Souvent les paraclases se traduisent à la surface par des saillies brusques et allongées, comparables à des falaises : telles sont celles qui terminent la chaîne des Vosges du côté de la plaine du Rhin, particulièrement dans la région septentrionale, formée de grès des Vosges, ou celle qui limite l'Alpe du Wurtemberg. Quelquefois aussi les failles donnent lieu à des ressauts qui, sans être aussi considérables que ceux qui viennent d'être cités, sont cependant très marqués (Côte-d'Or, où on les a désignés sous le nom de *hérissons*). Ces saillies, de divers ordres de grandeur, sont dues à des rejets plus ou moins considérables qui ont donné à une des parois de la faille une élévation relative qui subsiste encore, au moins en partie, lorsque des érosions postérieures ne l'ont pas fait disparaître.

Fréquemment les paraclases s'accusent, non par des saillies, mais au contraire par les érosions qu'elles ont provoquées. Il y a longtemps que de la Bèche a montré que, dans la contrée des Black-Downs, des failles qui traversent les couches crétacées ont donné naissance à des vallées[1]. En si-

[1] *Researches in theoretical geology*, p. 185 et 186 (1834).

gnalant le parallélisme de la Lys, de l'Escaut, de la Dendre, de la Senne, de la Dyle, de la Gete, d'Omalius a supposé aussi que ces lignes étaient le résultat de fractures, comme Dumont l'avait conclu pour la Hesbaye. Bien des terrains houillers où l'exploitation oblige à suivre et à relever exactement la situation des failles, offrent des coïncidences analogues : tels sont ceux de Saint-Étienne, de Blanzy, de la Grand'Combe et de Bessèges, où les failles s'annoncent par de nombreux *vallats*. Les exemples du même fait sont trop connus pour qu'il y ait lieu d'en citer d'autres. Le nom de *vallées de failles*, adopté par d'Omalius[1], a donc souvent sa justification.

Dans tous les cas dont il vient d'être question, il arrive très souvent que les érosions tendent à effacer le caractère des cassures originelles sur lesquelles elles sont en quelque sorte greffées, parce qu'elles y ont substitué les formes serpentantes qui leur sont propres. Mais, lors même que les lithoclases n'ont pas produit de rejet, c'est-à-dire lorsqu'elles n'appartiennent pas à la catégorie des failles proprement dites ou paraclases, les cassures des roches ou diaclases paraissent avoir joué un rôle important dans le modelé du sol.

D'abord on peut constater le fait sur de petites dimensions et sur des roches diverses, en étudiant les saillies qu'elles forment fréquemment. C'est ainsi qu'on rencontre dans le grès des Vosges des rochers isolés en forme de parallélépipèdes et de corniches escarpées, simulant des châteaux forts. Il en est de même dans le Quadersandstein de

[1] *Précis élém. de géologie*, p. 452.

la Suisse saxonne et de la Bohême, dont la stratification est également horizontale et coupée par des pentes verticales souvent à peu près rectangulaires entre elles, d'où est résultée la division en parallélépipèdes qui lui a valu son nom[1].

On peut se convaincre du même fait en examinant les mers de rochers (*Felsenmeere*) qui se rencontrent dans des roches très cohérentes et de natures diverses : granit (Brochen, Odenwald); grès des Vosges (plateau de Sainte-Odille, Menelstein, Ungersberg); grès bigarré (environs de Plombières, où elles sont connues sous le nom de *meurgers*).

L'état fragmentaire et ruiné des hautes cimes paraît être un fait général. Ainsi, les pics pyrénéens consistent, pour la plupart, en monceaux de blocs, souvent désignés sous le nom de chaos, de même que la cime du mont Perdu, dont Ramond a si attentivement étudié la forme des rochers.

L'influence topographique des diaclases se manifeste partout sur une échelle beaucoup plus grande. Plus on étudie sur des cartes exactes le dessin général des vallées et le relief du sol, plus on y reconnaît, de toutes parts, même dans les pays dont les couches sont restées à peu près horizontales, de nombreux traits rectilignes parallèles et souvent coudés. Or, ce caractère, sur lequel un de nos plus savants topographes, M. le colonel du génie Goulier, a appelé l'attention, se montre très fréquemment en rapport avec les diaclases.

[1] Naumann, *Erläuterungen*, n° 3, p. 49.

Lumière jetée par l'expérimentation sur la cause de ces divers traits topographiques. — L'expérimentation fournit des données qui paraissent éclairer très vivement ces résultats positifs dus à l'observation des faits naturels.

Dans les expériences sur les fractures, on a en effet produit des séries de cassures parallèles qui se groupent en systèmes ayant des orientations différentes, souvent perpendiculaires entre elles. On y voit aussi des formes coudées ou en zigzag prendre naissance par l'intersection de deux de ces systèmes de cassures. Ce sont donc des dispositions fort analogues à celles que les formes du relief offrent si fréquemment.

Il importe de faire ici deux observations sur ce rapprochement. D'une part, les diaclases n'ont été mises à nu que partiellement, c'est-à-dire sur une faible partie de leurs affleurements; d'autre part, de même que nous l'avons rappelé pour les failles, les agents érosifs ont imprimé leurs caractères propres et leurs sinuosités caractéristiques aux régions sur lesquelles ils ont exercé leurs attaques, et cela de la manière suivante : dès que certaines rigoles ont été excavées, ces rigoles sont devenues des artères principales, qui ont attiré vers elles les eaux qui devaient les creuser bien davantage encore, d'après des lois tout autres que celles qui avaient présidé aux cassures. Ce second effort de décapement, tout à fait prédominant, a fait disparaître le caractère originel des cassures. Pour ce double motif, ce caractère se montre d'une manière fort incomplète et souvent trompeuse; cependant, çà et là, il se manifeste d'une manière significative. Quoique souvent très délicats et en

très faible minorité, au point de pouvoir passer inaperçus, ces traits témoignent de l'influence des cassures.

C'est par les observations qui précèdent que peuvent s'expliquer divers types de modelé extrêmement répandus, que des actions érosives des eaux, aussi énergiques qu'on puisse les supposer, ne sauraient expliquer, et qui se rencontrent aussi bien dans les terrains stratifiés dont les couches sont restées horizontales, que dans les régions disloquées. Telles sont les séries de traits parallèles qui se répètent de toutes parts, en se groupant sous plusieurs orientations distinctes, comme nous venons de le voir. Quelques-uns peuvent n'être accusés que par de simples amorces.

A ce système réticulé se rattachent les coudes brusques, souvent rectangulaires, que l'on observe dans une foule de vallées. Le dessin de ces vallées, considéré horizontalement, offre une succession de formes en zigzag et en crémaillère, qu'il n'est pas toujours facile de distinguer des formes sinusoïdales que les cours d'eau ont excavées sur les alluvions mobiles qui en constituent le fond. Les formes coudées ont d'ailleurs leurs analogues dans les chaînes de montagnes, où l'on a depuis longtemps remarqué la disposition à peu près orthogonale des vallées : les unes longitudinales, les autres transversales ou formant des *cluses*, ainsi que des coudes brusques, tels que celui du Rhône à Martigny.

Souvent encore plusieurs vallées discontinues s'alignent suivant une même droite, réapparaissent successivement, malgré les proéminences intermédiaires qui séparent ces diverses vallées, et se présentent ainsi comme les diverses parties d'une même cassure rectiligne.

Quelque puissamment que les érosions aient agi dans leur creusement, elles n'ont pu ébaucher le premier dessin de ces différents types de formes. Comme on le voit, une telle configuration est l'analogue du réseau de cassures sans rejets qui sont la conséquence des expériences précitées, cassures qui servent toujours de cortège aux cassures avec rejets, bien moins nombreuses que les premières et dues également à un glissement moléculaire.

A cause de leur grand nombre, les joints ou diaclases ont contribué puissamment aux érosions, rivalisant ainsi avec les failles ou paraclases.

Dans les cassures obtenues par pression, on a vu que les fentes et les gerçures se multiplient suivant certains alignements, de manière à isoler de nombreuses pièces prismatiques; les parties ainsi désagrégées seraient dans des conditions particulièrement favorables à une démolition. C'est encore un résultat expérimental qu'il convient de rapprocher des faits naturels qui viennent d'être exposés.

Quelques-unes des expériences reproduisent en outre, dans leurs détails, la configuration des vallées dites de fracture ou d'écartement. Il est des vallées qui ne sont que des fissures à peine entr'ouvertes, comme celles de la Tamina, de Trient et de la Via Mala (Suisse), du Fier (Savoie), la perte du Rhône, près Bellegarde, les ruz et cluses du Jura, le Rummel, près Constantine, les canons du Wisconsin et du Colorado[1]. Sans être aussi caractéristiques, un grand nombre de vallées appartiennent au même type : telles sont les vallées abruptes des causses jurassiques du Midi de la

[1] Ce type a été désigné par M. Desor sous le nom générique de *Rofla*.

France, celles qui entaillent les couches redressées de la molasse, comme la Vevèze, près Vevey, et la vallée du Chaudron, près Montreux. Lorsque les parois de ces vallées portent à peine des traces d'érosion et que le fond montre la roche vive, au lieu d'avoir été remblayé par des éboulements, on doit croire que ces vallées résultent de cassures restées béantes.

Les blocs de mastic à mouler soumis à la pression présentent des gerçures qui rappellent bien les vallées dont il s'agit. Çà et là leurs fissures s'infléchissent brusquement, une ou plusieurs fois, et à peu près à angle droit. La disposition coudée résulte de la tendance à épouser successivement l'un et l'autre système de cassures. Ces gerçures apparaissent surtout à la surface des blocs où la pression était moindre qu'à l'intérieur.

De plus, des prismes de substances à la fois flexibles et cassantes, lorsqu'on les ploie, peuvent en même temps se déchirer graduellement. Si la partie convexe, qui se rompt par l'effet d'une extension, est tournée vers le haut, la déchirure va en se rétrécissant vers le bas, tandis que, dans sa projection horizontale, elle présente une configuration serpentante ou en zigzag. Un prisme de fer se déchire aussi sous cette forme, qui rappelle plus particulièrement les vallées dites de *soulèvement*, dont celle de Pyrmont offre un type classique. Toutes sortes d'intermédiaires lient ces vallées d'écartement à des vallées bien plus évasées, que l'on trouve fréquemment, même en dehors des chaînes de montagnes.

Si l'on opère sur des alternances de couches cassantes et de couches plastiques, on peut imiter d'autres effets naturels,

par exemple les ruptures qui se sont faites vers la partie culminante des voûtes jurassiques, ainsi que les crêtes qui les encadrent.

Résumé. — Quand on étudie la constitution d'une contrée, surtout si cette contrée est montagneuse, on s'applique habituellement à en rechercher et à en coordonner les saillies principales, telles que les lignes de faîte. Cependant les proéminences qui devaient exister originellement ont en général été fortement ébréchées ou même entièrement démolies. Dans les Alpes et ailleurs, les hautes cimes et les principales aspérités qui restent ne représentent que des lambeaux restreints du massif primitif; ce sont de véritables ruines éparses, qui résultent de démolitions irrégulières et comme accidentelles. Aussi l'intelligence de la structure de la contrée ne trouve-t-elle pas moins de lumières dans la recherche des lignes *intérieures* de fractures, paraclases et diaclases, qui sont, il est vrai, bien moins apparentes, mais qui n'ont pas subi les mêmes causes de destruction.

L'énorme puissance avec laquelle les eaux courantes, les neiges et les glaciers ont agi sur de vastes régions de continents, particulièrement pendant la période dite quaternaire, est incontestable : son énergie est une cause d'étonnement. Cela explique, sans doute, pourquoi on en a si souvent exagéré les effets. Mais les cassures produites à la suite des déformations du sol avaient préparé ces érosions considérables et leur avaient frayé une voie; elles avaient ébauché, en désagrégeant les roches, la maquette du modelé actuel. Pour l'observateur attentif, la disposition pre-

mière de ces cassures, quoique altérée par l'effet de tels élargissements, ne se décèle pas moins au dehors. Ces caractères attestent la priorité et l'action en quelque sorte *directrice* des cassures qui sillonnent le sous-sol. Partout, même dans les pays où les couches ont conservé à peu près leur horizontalité, le relief du sol offre le reflet d'innombrables cassures internes qui s'y répercutent en dessins significatifs.

Quoi qu'il en soit, il est incontestable que des traits orographiques de divers ordres trouvent une reproduction assez fidèle dans les cassures obtenues artificiellement par une action mécanique des plus simples, pression ou torsion, telle qu'il s'en est nécessairement produit bien souvent dans l'écorce terrestre. D'ailleurs, dans les unes comme dans les autres, dans la nature comme dans les expériences, à côté d'une tendance manifeste à des formes similaires, de régularité géométrique, apparaissent des perturbations de même nature. Aussi l'expérimentation paraît-elle jeter quelque lumière, non seulement sur l'histoire des failles et des joints, mais aussi sur différents caractères topographiques et géographiques.

XLVII

QUESTIONS DE GÉOLOGIE SYNTHÉTIQUE.

On a réuni sous ce titre quatre séries d'études, de documents et de modèles relatifs à quelques parties des généralités synthétiques du cours de géologie de l'École des Mines :

A. UNIFICATION DES TRAVAUX GÉOGRAPHIQUES ET GÉOLOGIQUES.

B. GÉOMÉTRIE DU RÉSEAU PENTAGONAL ET SPHÉRODÉSIE GRAPHIQUE.

C. ÉTUDE DES ALIGNEMENTS GÉOLOGIQUES ET APPLICATION DU RÉSEAU PENTAGONAL.

D. IMITATION DES ACCIDENTS OROGRAPHIQUES DE SOULÈVEMENT.

Recueils de documents, mémoires, notices, tableaux numériques (plaquettes et volumes reliés).

Carte d'étude au 80 000e (étui).

Planisphère avec texte et cartes gnomoniques, épures planes, roses, études graphiques d'alignements, tableaux, planches héliographiques, photographiques (panneau et portefeuille).

Globe et octaèdre géographiques, série de solides conjugués, épures sphériques (modèles).

A. UNIFICATION DES TRAVAUX GÉOGRAPHIQUES ET GÉOLOGIQUES.

a. *Mémoires et documents réunis à l'occasion du Congrès des sciences géographiques en 1875, à Paris.*

Recueil (in-8°) comprenant :

1° PROGRAMME D'UN SYSTÈME DE GÉOGRAPHIE fondé sur l'usage des mesures décimales, d'un méridien O grade international, et des projections stéréographiques et gnomoniques. (Présenté à l'*Académie des sciences* le 23 mars 1874. — Extrait du *Bulletin de la Société de géographie*, septembre 1874.)

2° Carte du globe en projection gnomonique. Notice explicative avec une feuille gravée à titre de spécimen. (Présentée à l'*Académie des sciences* le 3 novembre 1873. — *Bulletin de la Société de géographie*, mars 1874.)

3° Le système de la Carte géologique détaillée de la France présenté comme base de discussion pour l'établissement d'un programme répondant à la question de l'exécution uniforme des relevés géologiques. (Extrait du *Bulletin de la Société de géographie*, janvier 1875.)

4° Note sur la Carte géologique détaillée de la France. Historique et définition du travail, avec réduction du tableau d'assemblage. (Reproduction du *Cahier d'avertissement* B, extraite des *Annales des Mines*, 7e série, t. IV, 1873. — Portant sur la couverture la liste des 42 premiers articles de la publication mis en vente en 1874, M. Élie de Beaumont étant directeur, et M. Béguyer de Chancourtois sous-directeur du service.)

5° Légende technique générale de la Carte géologique détaillée de la France. (Reproduction du *Cahier des généralités* C, extraite des *Annales des Mines*, 7e série, t. IV, 1873.)

6° Carte géologique détaillée de la France. Système et mode d'application de la légende géologique générale, avec les tableaux de Lithologie et de Stratigraphie et les spécimens ou éléments des tableaux de Chronologie géognostique. (Reproduction du *Cahier de généralités* D, extraite des *Annales des Mines*, 7e série, t. V, 1874.)

7° De la régularisation des travaux de géologie, de l'association des études de géologie, d'hydrologie et de météorologie et de l'institution d'un relevé topographique et physique du territoire uniformément détaillé à l'échelle cadastrale du 10 000e, avec un tableau synoptique des parties de la Géologie ordonnées d'après un classement général des sciences. (Mémoire présenté à la *Société géologique* le 2 mars 1875.)

Ce recueil a été formé par M. B. de Chancourtois, auteur personnel des nos 1, 2, 3 et 7. La photographie annexée au

n° 1 représente, outre les spécimens du système de géographie, les moyens et les résultats de l'étude des alignements géologiques exposés simultanément en 1875. (Voir D.)

b. *Documents réunis en un volume, avec planches et tableau, à la suite du Congrès de géologie de 1878 à Paris.*

Ce volume (grand in-8°) comprend :

1° *Conférence sur l'unification des travaux géographiques*, faite le 3 septembre 1878, au palais du Trocadéro, par M. B. de Chancourtois. *Extrait des comptes rendus sténographiques des congrès et conférences qui ont eu lieu à l'occasion de l'Exposition universelle de 1878*, publiés sous la direction de M. Thirion, par le Ministère de l'agriculture et du commerce, à l'Imprimerie nationale, 1879, avec planche héliographique. (Voir ci-après C.)

2° *Transcription des noms géographiques en lettres de l'alphabet latin.* Mémoire de M. B. de Chancourtois (extrait des *Comptes rendus du deuxième Congrès international des sciences géographique, tenu à Paris en 1875*, publiés en 1878 par *la Société de géographie de Paris*) avec un tableau du *classement des 21 lettres de l'alphabet latin-français qui représentent les éléments phonétiques simples.*

3° *De l'unification des travaux géologiques en général et particulièrement en ce qui concerne les figurés conventionnels (tracés, notations, signes, couleurs)*, par M. B. de Chancourtois. (Extrait du *Compte rendu sténographique du premier Congrès international de géologie, tenu à Paris en 1878.* Publié à l'Imprimerie nationale en 1880.) Les sujets de cette communication sont actuellement étudiés par deux commissions internationales chargées par le Congrès de 1878 de préparer les délibérations sur les *questions d'unification* mises en tête de l'ordre du jour du deuxième Congrès, qui se réunira à Bologne en 1881.

c. *Programme d'un système de géographie fondé sur l'usage des mesures décimales, d'un méridien* 0 *grade international et des projections stéréographiques et gnomoniques.*

Réduction héliographique, au 10e, de l'exposition faite en 1878, au Champ de Mars (classe 16), à l'appui du système.

L'*explication de la planche* (exposée dans le panneau) est résumée dans l'énumération suivante des *documents*, *cartes*, *planches*, *globes*, *modèles* et *instruments qui y sont représentés :*

1. Programme raisonné du système. (Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, du 23 mars 1874.)
2. Atlas d'ensemble. — Planisphère sommaire.
3. Atlas d'ensemble. — Esquisses spécimens des quatre genres de feuilles de l'Atlas in-4° correspondant au globe réduit au 100 000 000e : S, hémisphère de la série stéréographique; O, triangle de la série gnomonique octaédrique; C, carré de la série gnomonique cubique; D, losange de la série gnomonique dodécaédrique. — Esquisses des séries complètes groupées chacune dans une planche quart grand aigle : S′, les six hémisphères imbriqués déterminés par les plans du méridien 0g — 200g, du méridien 100g — 300g et de l'équateur; O′, développement de l'octaèdre (octoplanisphère); C′, développement du cube; D′, développement du rhombododécaèdre.
4. Atlas de détail. — Planisphère sommaire.
5. Atlas de détail correspondant au globe, réduit au 1 000 000e. — Minute spécimen d'un trapèze de la série paire. Carte en projection gnomonique de la région principalement occupée par la France. (Format grand monde.)
6. Cadre d'un répertoire des situations géographiques, avec indication sommaire d'un classement des altitudes et d'un système de tracé méthodique des courbes de niveau pour le figuré du relief.
7. Rapports des cadrans d'horloge duodécimaux et décimaux.
8. Classement des lettres de l'alphabet français, présenté au Congrès de géographie de 1875 pour la transcription des noms géographiques.
9. Globe réduit au 100 000 000e avec canevas duodécimal.
10. Globe réduit au 100 000 000e avec canevas décimal.
11. Instruments sphérodésiques : règle, équerre et compas adaptés à ce globe (rayon = 0m,0637).
12. } Modèles manifestant les caractères des projections stéréographiques exécutées sur un
13. } plan méridien et sur un plan équatorial.
14. Modèle manifestant les caractères des projections gnomoniques et les rapports des polyèdres circonscrits au globe qui servent à en établir les séries : 1° octaèdre, cube et rhombododécaèdre conjugués; 2° polytrapézoèdres et polyrhomboèdres imbriqués.
15. Modèle manifestant la disposition imbriquée des hémisphères de la série stéréographique.
16. Octaèdres ..... } conjugués, circonscrits au globe réduit au 100 000 000e,
17. Cubes .... } offrant en projection gnomonique le canevas décimal et
18. Rhombododécaèdres .. } l'esquisse du figuré géographique.
19. Boussole transitoire, donnant simultanément la lecture des orientements en mesures duodécimales et décimales.
20. Aide-calculateur pour la conversion des mesures duodécimales en mesures décimales.

Malgré la réduction à une aussi petite échelle, les n°s 2 et 3 font bien apprécier les avantages du méridien pris comme méridien initial ou O grade; on voit que ce méridien, situé à 28° 30′ de longitude Ouest de Paris et qui peut être dit de Saint-Michel, parce qu'il passe près de l'île de ce nom, est presque exclusivement marin; il laisse à l'Est toutes les îles dépendantes de l'Afrique, ainsi que l'Islande, ne traverse du Groënland et de l'Asie continentale que les parties inhabitées ou les moins habitées, et, ne laissant ensuite à l'Est, dans l'Océanie, que les archipels de la Polynésie proprement dite, passe, sans l'entamer, près du continent Australien. La division produite par le méridien à 100 grades ou 90 degrés de ce méridien initial est également heureuse, tant pour la délimitation méridienne des hémisphères des mappemondes stéréographiques, que pour la répartition des terres dans un octoplanisphère. On n'a adopté la division par le méridien de l'île de Fer dans la construction de l'octoplanisphère (D d), où l'on conservait d'ailleurs la graduation duodécimale, que pour en faciliter l'usage immédiat, en ménageant les habitudes contractées.

Le n° 3 montre que, pour une carte au 1 000 000e, d'une région aussi étendue, la projection gnomonique, qui rend le tracé d'un grand cercle quelconque rigoureusement rectiligne et permet par suite d'étudier les alignements avec la règle, ne produit pas sensiblement plus de déformation que tout autre mode de transformation plus compliqué de la surface sphérique en surface plane. On peut de plus apprécier par cette reproduction d'une carte, dont l'orographie était ombrée au pinceau, tout le parti que l'on peut dès à présent tirer de l'héliographie pour la vulgarisation des connaissances géographiques par des cartes manifestant le relief, dont la publication peut suivre presque immédiatement l'exécution, terminée elle-même de la manière la plus rapide.

Le système de géographie objet de la planche héliographique exposée a été présenté en 1874 à l'Académie des sciences (*Comptes rendus*) et à la Société de géographie de Paris (*Bulletin*). — Voir a 1°. Il a été discuté au deuxième Congrès des sciences géographiques, en 1875; a fourni le fond de la conférence de 1878 (voir D b 1°) et

sera développé au troisième Congrès des sciences géographiques, qui se réunira à Venise en 1881.

B. GÉOMÉTRIE DU RÉSEAU PENTAGONAL ET SPHÉRODÉSIE GRAPHIQUE.

La géométrie du réseau pentagonal pouvant donner lieu à des applications en dehors de la géologie, on a réuni à part les objets et les documents destinés à en vulgariser les notions ou concernant les moyens de dessiner sur la sphère, moyens qui, bien que combinés pour l'étude du réseau et des alignements géologiques, ont eux-mêmes une portée plus générale.

a. *Instruction pour la pratique du dessin géométrique sur la sphère et pour son application en géographie et en géologie*, par M. B. de Chancourtois. (Extrait des *Annales des Mines*, 1875.)

b. *Sphère stuquée* représentant le globe terrestre réduit au 100 000 000e. (Voir d, e.)

Rayon = $0^{m},0637$; circonférence = $0^{m},4$; un degré = $0^{m},0011$; un grade = $0^{m},001$.

c. *Instruments sphérodésiques* adaptés à la sphère précédente : règle (grand cercle); équerre (triangle birectangle); compas (compas à verge circulaire). —Voir les figures photographiées D c 11°.

d. *Épure sphérique du canevas géodésique décimal* figurant les méridiens et les parallèles de 10 en 10 grades.

e. *Épure sphérique du réseau pentagonal* comprenant le tracé des 121 cercles principaux, savoir : les 15 primitifs ou hexaédriques, les 10 octaédriques, les 6 dodécaédriques réguliers, les 30 dodécaédriques rhomboïdaux, les 30 bissecteurs diagonaux et les 30 bissecteurs diamétraux; — coloriée méthodiquement.

f. *Modèles montrant les rapports des solides réguliers et du réseau pentagonal.*

1° Sphère portant les 15 cercles primitifs, les 100 octaédriques, les 6 dodécaédriques réguliers et un exemple de chacune des trois dernières catégories de cercles principaux, surmonté d'un globe géographique dressé par M. Périgot, portant aussi le mètre tracé.

2° Icosaèdre régulier surmonté du solide étoilé formé par les 5 octaèdres réguliers qui y sont inscrits et dont les arêtes correspondent aux cercles primitifs.

3° Dodécaèdre régulier (conjugué à l'icosaèdre), surmonté du solide étoilé formé par les 5 cubes (conjugués aux 5 cta èdres) qui y sont inscrits.

4° Triacontaèdre semi-régulier (conjugué à la fois à l'icosaèdre et au dodécaèdre), surmonté du solide étoilé formé par les 5 dodécaèdres rhomboïdaux semi-réguliers (conjugués à la fois aux 5 octaèdres et aux 5 cubes) qui y sont inscrits.

Les couples de sphères ou de solides étant enfilés sur les tiges qui représentent l'axe des pôles terrestres, de manière que, pour chaque couple, les sommets H, I, D du triangle qui comprend le pôle Nord se projettent sur les points du plateau de base marqués des mêmes lettres, il suffit de donner aux quatre triangles des plateaux la même orientation pour rendre tous les rapports manifestes au premier coup d'œil. Mais il importe de faire remarquer que le coloriage destiné à faire ressortir les rapports des 5 séries de solides est indépendant du coloriage méthodique de l'épure du réseau et n'est rappelé sur la sphère mise en regard des trois solides convexes que par les franges qui bordent les cercles primitifs.

g. *Épure plane* intitulée : *Le réseau pentagonal, résumant sur la sphère les rapports des cinq solides réguliers, établi en géologie comme principe de la coordination des systèmes de montagnes et des autres faits d'alignement, par Élie de Beaumont*, 1850.

Cette planche, exécutée d'abord à l'Imprimerie nationale en 1874 et reproduite après modifications en 1878, présente, avec une légende détaillée, la projection orthogonale du réseau sur le plan de l'un des cercles primitifs et sa projection gnomonique, pour le quart de la sphère, sur le plan tangent horizon du centre d'un pentagone. Elle correspond à l'épure sphérique (e) par ses dimensions, ses notations et son coloriage.

h. *Applications de l'épure plane précédente :* exemples d'itinéraires géométriques de cercles dont les pôles sont donnés, tracés par réflexion dans un seul pentagone.

i. *Notice* intitulée : *Sur le réseau pentagonal de M. Élie de Beaumont* (extrait du *Bulletin de la Société géologique*, 1875), placée ici comme donnant une description sommaire du réseau.

C. ÉTUDE DES ALIGNEMENTS GÉOLOGIQUES ET APPLICATION DU RÉSEAU PENTAGONAL.

La stratigraphie est la partie géométrique de la géologie. Comme l'indique l'étymologie du mot, elle a eu d'abord pour objet l'étude des surfaces de division de l'écorce terrestre voisines de l'horizontalité, qui résultent surtout des phénomènes sédimentaires; mais elle comprend maintenant l'étude des surfaces de division voisines de la verticalité, qui résultent plutôt des mouvements de l'écorce et des phénomènes éruptifs. Ces deux études, bien qu'essentiellement connexes, peuvent être distinguées, en langage condensé, par les dénominations de *stratigraphie horizontale* et *stratigraphie verticale*.

La dernière est non moins importante que la première, au point de vue pratique comme au point de vue théorique, car les surfaces de division voisines de la verticalité comprennent les filons et les failles.

Elle a pour base l'étude des alignements géologiques, poursuivie depuis les faits de dernier détail qui intéressent immédiatement l'exploitation des gîtes minéraux jusqu'aux faits d'ensemble concernant la distribution de ces gîtes et les dispositions générales des masses minérales éruptives ou sédimentaires. A tous les degrés d'ailleurs, ces faits se montrent en rapport avec les faits orographiques ou hydrographiques.

Il peut donc être utile de présenter les moyens réunis à l'École des Mines pour cette étude des faits d'alignements et des résultats d'application de divers ordres.

La systématisation des alignements par le réseau pentagonal (dont les propriétés géométriques sont l'objet du paragraphe A) intervient avantageusement dans les résultats comme dans les moyens d'étude, qui en sont cependant, pour plusieurs parties, complètement indépendants.

MOYENS D'ÉTUDE.

a. *Tableaux des données numériques qui fixent les cercles et les points du réseau pentagonal*, publiés par M. Élie de Beaumont dans les Comptes rendus de l'Académie des sciences (1863 et 1866.)

b. *Notice* intitulée : *Sur le réseau pentagonal de M. Élie de Beaumont*, par M. B. de Chancourtois. (Extrait du *Bulletin de la Société géologique*, 1875.) — (Déjà mentionnée A k.)

c. *Globe au 100 000 000e*, sur lequel on a tracé, avec les instruments sphérodésiques (voir A c) et au moyen des données numériques des tableaux, *les 31 premiers cercles principaux du réseau pentagonal.*

d. *Octoplanisphère gnomonique. Carte du globe dressée en projection gnomonique sur les huit faces d'un octaèdre régulier circonscrit* dont les huit triangles juxtaposés offrent le développement, avec l'indication des points principaux du réseau pentagonal qui jalonnent le tracé rectiligne de ce réseau, établie pour l'*Étude des alignements géographiques* en général par M. B. de Chancourtois.

Le globe auquel correspond l'octoplanisphère est la réduction du globe terrestre au 100 000 000e. L'un des axes de l'octaèdre a été mis en coïncidence avec l'axe des pôles et deux des arêtes correspondent au méridien de l'île de Fer.

En vertu du principe gnomonique de la projection, les grands cercles d'alignements sont représentés par des droites; mais ces droites forment nécessairement dans le développement un polygone. Une planche annexe donne les moyens de construire le polygone déterminé par un premier côté ou par deux points appartenant à deux faces différentes, et les constructions ou les calculs à faire pour résoudre les deux questions sont expliqués dans une feuille de texte.

La planche annexe présente de plus le tracé du réseau pentagonal, et le texte, après avoir fait connaître les conditions d'exécution des deux planches et indiqué comment on peut y poursuivre les alignements *en dehors de toute systématisation*, offre aussi les données et les explications nécessaires pour l'étude et l'utilisation du réseau.

Le texte est complété par des renseignements bibliographiques et des *desiderata* concernant l'usage des cartes gnomoniques.

Le portefeuille de l'octoplanisphère est accompagné d'un octaèdre formé avec la planche du figuré géographique et pouvant tenir lieu de globe.

e. *Le pentagone européen en projection gnomonique sur l'horizon de son centre.*

Carte de l'Europe et des régions voisines publiée par Élie de Beaumont, avec sa notice sur les systèmes de montagnes (1852). — Agrandie par la photographie de manière à correspondre au globe réduit au 20 000 000e. (Voir ci-après h.)

f. *Rapporteur*, gravé, disposé pour établir les *roses de directions* qui résument les *études locales des faits d'alignements.*

Ce rapporteur, demi-circulaire, est dit transitoire, parce qu'il offre sur les deux limbes concentriques la graduation duodécimale et la graduation décimale. La circonférence divisée décimalement ayant un rayon de $0^{m},0637$, soit le 100 000 000e du rayon terrestre, le grade a une longueur de $0^{m},001$.

Deux zones sont réservées à l'intérieur de chaque limbe pour recevoir séparément les directions des alignements relevés et les directions des cercles classés, transportées par le calcul, dont le rapprochement fait apprécier les rapports. Une zone contiguë à chaque limbe est préparée pour recevoir la valeur de l'orientement, c'est-à-dire de l'angle d'orientation de chaque direction mesurée à partir du Nord par l'Est. Trois zones extérieures sont destinées à la désignation des cercles de comparaison classés. Dans la première, on indique les pôles des cercles, et dans la seconde, les points principaux de l'itinéraire poursuivi dans un quadrant, au moyen des notations sphérodésiques que l'on tire des tableaux de données numériques (a) ou de l'octoplanisphère (d). La dernière reçoit les dénominations géographiques ou géologiques.

ÉTUDE D'ENSEMBLE.

g. *Application du réseau pentagonal à la coordination des sources de pétrole*

et des dépôts bitumineux, étendue à la coordination des points ou des lignes d'éruption et d'émanation et des gîtes minéraux en général. Mémoire de M. B. de Chancourtois. (Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1863.)

Une des conclusions de ce mémoire est que les alignements se groupent sur le globe en *systèmes de grands cercles conjugués*, déterminés chacun par un *grand cercle normal commun.*

On a en conséquence disposé pour la constatation ou la recherche des systèmes d'alignements conjugués par un normal, un armillaire dit à coupoles qui permet de faire tourner un globe géographique autour de l'axe des pôles d'un normal donné et d'amener cet axe dans le plan du limbe horizontal, à l'arasement duquel la rotation du globe présente alors successivement tous les alignements du système mis en expérience; mais cet appareil, qui figurait à l'Exposition de 1878, n'a pu être envoyé à la présente Exposition.

h. *Étude d'alignements géographiques et géologiques généraux sur l'octoplanisphère gnomonique.* (Voir B d.)

On a tracé sur des exemplaires différents de cette carte les alignements décrits dans le mémoire susmentionné, savoir : 1° sur l'exemplaire placé dans le panneau, les deux systèmes de cercles qui ont pour normaux le cercle primitif du Rhin et le bissecteur de Bassorah formant trait carré au centre du pentagone européen ; 2° les deux systèmes de cercles qui ont pour normaux le trapézoédrique de Tanganjika et le diamétral de la basse Loire formant également trait carré ; 3° le système qui a pour normal le dodécaédrique régulier de Singapour, perpendiculaire à la fois aux normaux des deux systèmes précédents et formant ainsi avec eux des triangles trirectangles ; 4° les alignements non systématisés.

Des termes particulièrement remarquables du *système de grands cercles qui a pour normal le primitif du Rhin* sont : le cercle de comparaison des Pyrénées qui passe par l'Etna, où sa direction se trouve dans les principaux accidents du Val del Bove, et les faisceaux de lignes de fracture, que l'on peut suivre des gîtes de pétrole de Bakou, extrémité du Caucase, aux gîtes de la région de l'Ohio, et des bouches

du Volga aux bouches du Mississipi. (Voir, pour plus ample description, la note l.)

i. *Étude d'alignements géographiques et géologiques généraux sur la carte gnomonique du pentagone européen.*

On a figuré sur cette carte les mêmes systèmes d'alignements que sur l'octoplanisphère.

Parmi les alignements des systèmes, dont les normaux sont les cercles du Tanganjika et de la basse Loire, on peut citer : pour le premier, le cercle qui, passant par l'Etna et les Dardanelles, marque la limite Sud de l'Atlas, le faisceau qui joint les gîtes de mercure d'Almaden et d'Idria et le cercle qui, passant par la Côte-d'Or et les marais de Pinsk, accuse encore un caractère anticlinal dans les plaines de la Russie en détournant le Volga; pour le second : le cercle qui suit la Gironde et les côtes de l'Océan, celui qui relève Londres, Paris et Lyon; celui qui, partant de l'Etna, va régler le cours du Rhin au-dessous de Coblentz; celui qui, après avoir réglé le cours du Pruth, relève l'embouchure du Bosphore et le sommet du delta du Nil. (Voir, pour plus ample description, la note l.)

j. *Études d'alignements géographiques et géologiques sur le tableau d'assemblage de la Carte géologique de France.*

Les systèmes d'alignements dont les normaux sont, d'une part, les cercles du Rhin et de Bassorah, d'autre part, les cercles de Tanganjika et de la basse Loire, ont enfin été tracés sur cette carte au 2 000 000e qui est due à Brochant de Villier, Dufrénoy et Élie de Beaumont, et qui porte, ainsi que la carte de la France au 500 000e, les cercles du réseau pentagonal ajoutés par Élie de Beaumont.

k. Note *sur les alignements géologiques*, par M. B. de Chancourtois. (Extraite des *Comptes rendus du Congrès de l'association française pour l'avancement des sciences*, 1878.)

Cette note développe les explications relatives aux trois études précédentes (h, i, j).

ÉTUDES LOCALES.

l. *Distribution des gîtes minéraux subordonnés aux dépôts sédimentaires,*

par faisceaux d'alignements parallèles aux autres alignements géologiques et aux directions des systèmes de montagnes dans la région de la Haute-Marne, figurée sur la carte géologique de ce département au 80 000e (exécutée par M. Duhamel, revue et complétée par MM. Élie de Beaumont et B. de Chancourtois et publiée à l'Imprimerie impériale, 1862), avec une rose des directions observées.

m. *Études stratigraphiques* jointes à la carte précédente. Mémoires dans lesquels M. Élie de Beaumont a discuté des remarques sur les rapports qui existent entre les directions constatées et celles des cercles de comparaison de ses systèmes de montagnes, et M. B. de Chancourtois, après avoir décrit les faits d'alignements qu'il a observés et qui font le sujet des remarques précédentes, étend ce genre d'étude au tiers N. E. de la France, à l'aide de la carte géologique au 500 000e.

n. *Rose des directions observées et rapportées, résumant l'étude graphique des plis, des failles et des fissures jalonnées par les gîtes de minerais de fer dans le Nord de la France, du même ordre que la précédente.*

Cette étude, exposée en 1878, a été faite sur un fragment de la Carte géologique détaillée de la France au 80 000e composé de quatre des vingt-deux feuilles exécutées avant 1874, M. Élie de Beaumont étant directeur du Service, et M. B. de Chancourtois sous-directeur; savoir : Montreuil, Arras et Saint-Omer, par M. Potier; Boulogne, par M. Douvillé.

p. *Alignements géologiques de la région du Pas-de-Calais signalés dans les observations sur l'exploration géologique du détroit* faite par MM. Lavalley, Larousse, Potier et de Lapparent, pour la question du tunnel. (Extrait du *Bulletin de la Société géologique de France*, 1875.)

Entre autres indications, cette note fait ressortir la coïncidence des deux plis constatés près des côtes de la France et de l'Angleterre dans le voisinage de Calais et de Douvres et de deux alignements antérieurement remarqués, du système dont le normal est le cercle de Tanganjika. Elle signale la possibilité sinon la probabilité d'accidents de fracture dirigés perpendiculairement, c'est-à-dire sur des alignements du système dont le normal est le cercle de la basse Loire.

q. *Étude des alignements géologiques relevés aux environs de Vernon.* (Extrait du *Bulletin de la Société géologique*, 1878.)

La note de M. B. de Chancourtois et la planche lithographiée exécutée par ses soins font partie du compte rendu, présenté en commun avec M. Douvillé, de l'une des courses faites à la suite du Congrès de géologie de 1878. L'étude porte sur les alignements des cours d'eau et des vallées, des flancs abruptes des terrasses qui dominent la Seine, des failles et fissures de la craie et enfin des dykes d'argiles et d'arènes kaolinentes. Elle fait ressortir l'influence des fentes du terrain sur le régime des eaux artésiennes dont la nappe inférieure au gault a été utilisée par le forage de la Madeleine représentée sur la planche.

D. IMITATION DES ACCIDENTS OROGRAPHIQUES DE SOULÈVEMENT.

a. *Moyens simples d'imiter les chaînes de montagnes sur un globe et les cirques volcaniques sur un plan, d'après le principe de la théorie des soulèvements, et réalisation de l'imitation automatique des chaînes de montagnes*, par M. B. de Chancourtois. (Notes extraites des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1878.)

Une communication avait d'abord indiqué les moyens d'imitation, en rappelant une première imitation automatique des chaînes de montagnes obtenue vers 1853, mais restée inédite. Des spécimens de la réalisation de cette imitation automatique ont été ensuite présentés.

b. *Imitation automatique des chaînes de montagnes sur un globe réduit au 100 000 000e.*

Reproduction héliographique (exposée dans le panneau) de deux spécimens montrant : le premier, la tendance aux formes polygonales avec simples rebroussements sur une écorce mince ; le second, la tendance aux longs alignements avec chevauchement sur une écorce plus épaisse.

c. *Imitation des cirques volcaniques sur un plan.*

Reproduction photographique (exposée dans le panneau) de deux

spécimens imitant : l'un, l'hémicycle ovale de Ténériffe qui entoure le pic au S. O., l'autre l'hémicycle rond de la Somma qui entoure le Vésuve au N. E.

La plupart des documents, cartes, dessins, photographies, gravures, héliographies, modèles et instruments réunis sous le n° XLVII sont dus à M. Béguyer de Chancourtois inspecteur général des Mines, professeur de géologie à l'École des Mines, qui les a produits personnellement ou avec des collaborations de diverses catégories : calcul et dessin géographiques et géologiques, dessin géométrique, photographie, gravure en taille-douce, héliographie, construction de modèles et d'instruments de précision, impression en taille-douce et lithographique, typographie, édition; dont les participations sont indiquées par la mention des lettres qui désignent les articles catalogués ci-dessus, dans la liste suivante présentant par ordre alphabétique les noms des collaborateurs :

MM. Arnous de Rivière, typ. (A a, C d); Bertaux, constr. édit. (B d, C d); Bullot, phot. (C e); Chapellier, grav. géogr. (C d); Constans, dess. géogr.; Dujardin, héliogr. (A c, B g, D c); Dumoulin-Froment, constr. instr. (A c, 11, 19, 20, B c, C g); Delagrave, édit. (B f); Dunod, édit. (A a); Erhard, impr. lith. (C d); Eudes, impr. t. d. (C d, B c); Gauthiers-Villars, typ. édit. (C g, C m); Gedlinski, dess. géol. (C h, C l); Leclère, grav. lith. (C d, C f); Lejard, dess. géol. (A c, 2, 4, 6, C f, C h, C i, C j, C n); Lemercier, impr. lith. (C q); Lenoir, dess. géom. (B g); Lorsignol, grav. géogr. (C d); Muret, constr. mod. (B f); Parquet,

dess. géogr. (A c, 5, C d, C e); Pérot, grav. géom. (B d, C f); Picard, dess. géogr. (C d); Thoulet, calc. géogr. (C d); Wagner, dess. géol. (A c, 9, 10, B d, B e, C c).

Cinq collaborateurs qui ont désiré garder l'anonyme ne sont pas signalés dans cette liste, bien que leur intervention ait été d'une efficacité particulière pour la réalisation des articles (A a, 2, C d, C q, D b).

Les noms des auteurs ou éditeurs des documents utilisés ou annexés pour compléter un ensemble méthodique ont été mentionnés dans le courant du catalogue, dès qu'il y a eu lieu.

NOTICES RELATIVES A LA CARTE GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE.

Les documents envoyés à l'Exposition internationale de Melbourne par le Service de la Carte géologique de la France se trouvent divisés par leur nature même en deux catégories bien distinctes. Les uns appartiennent à la Carte géologique générale qui a été entreprise par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, ingénieurs des Mines, sous la direction de M. Brochant de Villiers, inspecteur général au même corps, dans la période comprise entre 1825 et 1840; les autres font partie de la Carte géologique détaillée instituée par décret du 1er octobre 1868 et qui est en cours d'exécution. De là une division toute naturelle dans les notices qui concernent ces deux séries de documents.

CARTE GÉOLOGIQUE GÉNÉRALE.

NOTICE.

La Carte géologique générale de la France est à l'échelle du $\frac{1}{500000}$. Elle a été gravée *ad hoc* par les soins de ses auteurs en prenant pour canevas une carte hydrographique dressée par le Service des Ponts et Chaussées. Elle est divisée en six feuilles qui, rapprochées, forment un carré d'environ deux mètres de côté.

La carte générale a eu pour objet de faire connaître les

grands traits de la constitution géologique du sol de la France. C'est une sorte de triangulation d'ensemble dans laquelle les terrains sont représentés par leurs principales subdivisions. La légende comprise dans le cadre de la feuille n° 5 donne la liste détaillée de celles qui ont été adoptées. Rien n'est plus propre que la légende à mettre en évidence l'esprit qui a présidé à l'exécution de ce grand et remarquable travail. C'est pourquoi on a jugé à propos de la reproduire *in extenso* :

Dépôts postérieurs aux dernières dislocations du sol		Alluvions et tourbes. Diluvium alpin et höss.	
Terrains tertiaires	supérieurs. (Pliocènes.)	Alluvions anciennes de la Bresse, sables des Landes, sables marins supérieurs de Montpellier.	
	moyens. (Myocènes.)	Faluns. Meulières. Grès de Fontainebleau.	Dénominations usitées dans le bassin de Paris.
	inférieurs. (Éocènes.)	Gypse. Calcaire grossier. Argile plastique.	
Terrain crétacé supérieur.		Craie blanche et craie marneuse.	
Terrain crétacé inférieur..		Grès vert supérieur (craie tuffeau) et inférieur; formation Wealdienne ou Néocomienne.	
Terrain jurassique.		Étage supérieur du système oolithique. Étage moyen du système oolithique. Étage inférieur du système oolithique (comprenant les marnes supraliasiques). Calcaire à gryphées arquées. Grès infraliasique. Terrain jurassique modifié.	

Terrain du trias.....	Marnes irisées (marnes rouges, Keaper). Muschelkalk. Grès bigarré (nouveau grès rouge des Anglais).
Grès des Vosges.	
Zechstein.....	Calcaire magnésifère des Anglais.
Grès rouge.....	Rothe todteliegende des Allemands.
Terrain carbonifère.....	Terrain houiller. Calcaire carbonifère.
Terrains de transition...	supérieurs (système Dévonien, — vieux grès rouge des Anglais). moyens (système diluvien). inférieurs (système cambrien). modifiés.
Terrains cristallisés (vulgairement appelés terrains primitifs).....	Micaschiste et steaschiste. Micaschiste et gneiss. Gneiss. Granit. Syénite.
Roches plutoniques intercalées dans diverses formations.....	Porphyres rouges quartzifères. Diorites et trapps. Serpentines et euphotides. Mélaphyres et ophites des Pyrénées.
Terrains volcaniques....	Trachytes. Phonolithes. Basaltes. Volcans à cratères et coulées.

La Carte géologique générale a été publiée en 1840. Indépendamment du figuré des terrains et de leurs principales subdivisions au moyen de teintes variées, elle renferme des indications propres aux gîtes de substances minérales et aux lieux où elles sont exploitées. Les périmètres des concessions y sont tracés, et les usines métal-

lurgiques y sont représentées par des signes conventionnels.

Les auteurs de la Carte géologique générale ont bien compris qu'un texte explicatif formait le complément indispensable de leur œuvre. Ils lui ont même donné une place en rapport avec son importance. A la fin de l'introduction, ils exposent l'ordre qu'ils ont cru devoir adopter pour la description des assises dont se compose la charpente minérale de la France. Ils envisagent en premier lieu les massifs des roches anciennes qui en forment l'ossature et sur lesquels se sont modelés les dépôts sédimentaires. Ce sont : le plateau central, la presqu'île de Bretagne, le massif des Ardennes, les Vosges et les montagnes littorales du département du Var. Ils décrivent ensuite les assises sédimentaires dans l'ordre de leur superposition ou de leur succession à partir du terrain houiller jusques et y compris la formation crétacée. Les terrains tertiaires et les chaînes de montagnes forment le complément de la description du sol. A raison de leur position plus ou moins détachée ou de leur état plus ou moins bouleversé, ils constituent autant d'appendices placés à la fin de l'ouvrage.

En résumé, la description géologique de la France, telle que les auteurs de la Carte générale l'avaient originairement conçue, devait comprendre vingt-quatre chapitres, dont il suffira de donner les titres pour qu'on puisse apprécier le plan d'ensemble de l'œuvre.

Chapitre 1er. — Objet de la Carte géologique et de l'explication qui l'accompagne. Travaux divers publiés précédemment dans le même but. Formes générales du sol de la France ; relation entre ces formes et sa structure intérieure. Précis de l'état actuel des connaissances

géologiques. Description sommaire des roches. Mode de coloration de la Carte géologique. Division de cet ouvrage, fondée sur la structure du sol et les principes généraux de géologie. (Ce chapitre a été rédigé en commun par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont.)

Chapitre II. — Massif central de la France, par M. Dufrénoy.

Chapitre III. — Presqu'île de Bretagne, par M. Dufrénoy.

Chapitre IV. — Les Ardennes, par M. Élie de Beaumont.

Chapitre V. — Les Vosges, par M. Élie de Beaumont.

Chapitre VI. — Montagnes littorales du département du Var, par M. Élie de Beaumont.

Chapitre VII. — Terrain houiller : description des différents bassins, par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont.

Chapitre VIII. — Grès bigarré, Muschelkalk et marnes irisées, par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont.

Chapitre IX. — Terrain jurassique (en exceptant le Jura, les Pyrénées et les Alpes), par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont.

Chapitre X. — Terrain crétacé dans le bassin du Nord de la France, par M. Élie de Beaumont.

Chapitre XI. — Terrain tertiaire inférieur dans le bassin du Nord de la France, par M. Élie de Beaumont.

Chapitre XII. — Terrain crétacé dans le bassin du S. O. de la France (les Pyrénées exceptées), par M. Dufrénoy.

Chapitre XIII. — Terrain tertiaire inférieur dans le bassin du S. O. de la France, par M. Dufrénoy.

Chapitre XIV. — Terrain tertiaire moyen (plateaux du N. O. de la France, plaine de la Gascogne), par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont.

Chapitre XV. — Terrain tertiaire supérieur (Flandre, Bresse, Landes et Pyrénées-Orientales), par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont.

Chapitre XVI. — Pyrénées, par M. Dufrénoy.

Chapitre XVII. — Plaine du Rhin, par M. Élie de Beaumont.

Chapitre XVIII. — Collines de la Haute-Saône, par M. Élie de Beaumont.

Chapitre XIX. — Jura, par M. Élie de Beaumont.

Chapitre XX. — Alpes françaises, par M. Élie de Beaumont.

Chapitre XXI. — Volcans éteints de la France centrale, par M. Dufrénoy.

Chapitre XXII. — Diluvium alpin, alluvions, tourbes, etc., par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont.

Chapitre XXIII. — Distribution corrélative des gîtes minéraux et des usines métallurgiques, par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont.

Chapitre XXIV. — Statistique générale des mines exploitées en France et de leurs produits.

Ce programme a été en partie exécuté.

En 1841 a paru le tome Ier de l'explication de la Carte géologique de la France (1 vol. grand in-4° de 325 pages). Il renferme les chapitres I à VII inclus. Pour faciliter la lecture du texte, on y a joint un tableau au $\frac{1}{2\,000\,000}$ des six feuilles de la Carte, lequel en reproduit autant que possible le figuré.

Le tome II a été publié en 1848. Il est tout entier consacré à la description des trias et du terrain jurassique, formant les chapitres VIII et IX (1 vol. de 813 pages).

Enfin en 1873, seize ans après la mort de M. Dufrénoy, l'Administration des Mines a repris la publication du texte explicatif de la Carte générale en faisant paraître les chapitres XII, XIII, XIV, XV, XVI et XXI, qui, confiés à ce collaborateur, ont été retrouvés parmi ses manuscrits. Ils forment la première partie du tome III (1 vol. de 231 pages).

Le plan primitivement adopté pour la publication du texte a été modifié par l'adjonction d'un complément dont

l'avertissement placé en tête du tome II a annoncé dès 1848 l'apparition en ces termes :

« Nous pensons devoir également annoncer à nos lecteurs que l'Administration des Mines, dans le but de fournir aux ingénieurs et aux géologues un moyen facile d'étudier la conchyliologie, qui forme un des éléments essentiels de la géologie pratique, nous a autorisés à consacrer un volume à la publication des coquilles les plus caractéristiques des terrains ; les fossiles seront dessinés soit d'après les échantillons que nous avons recueillis nous-mêmes, soit d'après d'autres échantillons plus complets dont les collections de l'École se sont enrichies et dont le gisement originaire est bien constaté ; la description de ces fossiles, qui sera faite par M. Bayle, chargé depuis trois ans de professer le cours de paléontologie à l'École nationale des Mines, sera le complément de l'explication de la Carte géologique de la France. »

L'atlas du tome IV de l'explication de la Carte géologique a paru en 1878. Il renferme 158 planches présentant les principaux fossiles des terrains et 18 planches de végétaux de la flore houillère. Les planches de fossiles ont été exécutées sous la direction de M. Bayle, ingénieur en chef des Mines ; elles offrent plusieurs genres nouveaux. Quant aux planches de végétaux houillers, elles sont dues à la collaboration de M. Zeiller, ingénieur des Mines. A chacune des planches est jointe une légende explicative ; à la seconde partie de l'atlas est joint un texte descriptif.

Le Service géologique a envoyé à l'Exposition de Melbourne tout ce qui a paru du texte explicatif de la Carte générale.

CARTE GÉOLOGIQUE DÉTAILLÉE DE LA FRANCE.

GÉNÉRALITÉS.

L'exécution aux frais de l'État de la Carte géologique détaillée de la France a été prescrite par décret du 1er octobre 1868. Un arrêté ministériel du 15 du même mois a organisé le service spécial chargé d'entreprendre ce grand travail, et il l'a placé sous la haute direction de M. Élie de Beaumont, sénateur, membre de l'Institut, professeur de géologie à l'École des Mines.

Le rapport du 30 septembre, contenant l'exposé des motifs du décret, tout en fixant le but de l'œuvre, a déterminé d'une manière générale les conditions dans lesquelles elle devait être entreprise. Le but déclaré était de reprendre le travail inauguré en 1835 par l'institution des Cartes géologiques départementales et de le terminer en y apportant les vues d'ensemble qui pouvaient seules en assurer l'homogénéité. Quant aux bases essentielles assignées à la confection de l'œuvre, elles étaient également définies dans le rapport. Les relevés géologiques du sol devaient être effectués et reportés sur la Carte du Dépôt de la guerre au $\frac{1}{80000}$. On prévoyait qu'un terme de dix années suffirait à l'achèvement des études sur les deux cent quatre-vingt-six feuilles de cette carte entre lesquelles le territoire français était alors divisé. Le tirage de chaque feuille devait avoir lieu à deux cents exemplaires. Enfin la dépense était évaluée à 1 million de francs.

A la suite du décès de M. Élie de Beaumont, survenu en

septembre 1874, le Service de la Carte géologique détaillée a dû être l'objet d'une réorganisation complète. L'Administration des travaux publics n'y a procédé qu'avec mesure et après avoir pris notamment l'avis d'une commission instituée à cet effet. Le résultat principal de l'enquête à laquelle cette commission s'est livrée a été de constater la disproportion manifeste qui existait entre le plan conçu pour l'exécution de l'œuvre et les moyens dont le Service disposait pour la mener à bonne fin. Le remède à une pareille situation lui a paru résider dans le concours de collaborateurs pris sur les lieux à explorer, tant dans le Corps des Mines qu'en dehors de ce corps.

D'un autre côté, l'attention de l'Administration des travaux publics se trouvait appelée sur la nécessité d'imprimer à la Carte géologique une direction telle qu'elle restât une œuvre pour ainsi dire impersonnelle, indépendante de tout système et pouvant être accueillie sans discussion et sans réserve par la généralité du public spécial auquel elle était destinée.

L'arrêté ministériel du 21 janvier 1875, qui a reconstitué le Service géologique, a résolu ces difficultés de la manière la plus heureuse en plaçant à côté du directeur, seul responsable envers le Ministre, une commission appelée à donner son avis sur les questions se rattachant à l'exécution de la Carte.

Dans les cinq dernières années, tous les efforts de la direction nouvelle ont eu pour objet de mettre en pratique les vues qui avaient présidé à la réorganisation du Service. Bien que la réforme, aussi large que libérale, introduite dans le recrutement du personnel n'ait pu devenir effective

qu'à partir de 1876, par suite de l'insuffisance des crédits précédemment alloués, et qu'elle ne date par conséquent que de quatre ans, elle a déjà produit d'excellents résultats. Dès la première année, le Service géologique, réduit auparavant à six membres actifs, s'est accru de treize collaborateurs, pris en général parmi les professeurs des facultés des sciences et les ingénieurs des Mines. Il compte maintenant trente-sept membres. Avec sa composition et sa dotation actuelle de 80 000 francs, le Service est en mesure d'imprimer à la publication de la Carte géologique une impulsion rapide et de l'achever dans un délai de dix-huit ans, compté à partir de 1876 et correspondant à une production moyenne de quatorze feuilles par année.

Parmi les autres réformes dont l'exécution de la Carte géologique détaillée a été l'objet, il est impossible d'omettre, à raison de son importance, celle qui a été apportée au mode de publication. Conformément à l'avis de la Commission consultative, le tirage des feuilles de la Carte a été porté de deux cents à cinq cents exemplaires, et l'impression en couleurs a été substituée au coloriage à la main. Cette modification dans le procédé d'exécution a permis de réduire de moitié les prix de vente. On a pu les abaisser assez pour qu'ils ne dépassent plus guère ceux des exemplaires gravés de la Carte du Dépôt de la guerre, et que, dans certains cas, ils se tiennent même au-dessous de ces derniers.

Le Service de la Carte géologique détaillée a envoyé à l'Exposition internationale de Melbourne :

1° Un grand atlas contenant tous les documents publiés jusqu'à ce jour;

2° Les Alpes françaises, comprenant les feuilles au $\frac{1}{80000}$

Grenoble, Vizille, Briançon et Saint-Jean-de-Maurienne;

3° Un panneau contenant une étude géologique des Alpes maritimes à l'Est du Var et de la Vésubie, ainsi que la feuille d'Antibes au $\frac{1}{80000}$;

4° Une étude géologique des environs de Givet (Ardennes) au $\frac{1}{40000}$;

5° Le massif volcanique du Cantal, à la même échelle;

6° Une étude géologique du Mont-Dore au $\frac{1}{40000}$;

7° Un fragment du relevé géologique du bassin tertiaire du S. O., comprenant les feuilles de Bordeaux, la Teste-de-Buch, Sore et Mont-de-Marsan, avec une coupe longitudinale du bassin;

8° Un ouvrage intitulé : *Minéralogie micrographique;*

9° La description géologique du pays de Bray.

ATLAS.

L'atlas réunit tous les documents de la Carte géologique détaillée actuellement mis en vente.

Ce sont :

1° Trente-six des feuilles de la Carte du Dépôt de la guerre avec les relevés géologiques, savoir:

N° 1, Calais; n° 2, Dunkerque; n° 3, Boulogne; n° 4, Saint-Omer; n° 5, Lille; n° 6, Montreuil; n° 7, Arras; n° 8, Douai; n° 9, Maubeuge; n° 10, Saint-Valery; n° 11, Abbeville; n° 12, Amiens; n° 13, Cambrai; n° 18, Le Havre; n° 19, Yvetot; n° 20, Neufchâtel; n° 21, Montdidier; n° 22, Ham; n° 31, Rouen; n° 32, Beauvais; n° 33, Soissons; n° 47, Évreux; n° 48, Paris; n° 49, Meaux; n° 64, Chartres; n° 65, Melun; n° 66, Provins; n° 69, Nancy;

n° 78, Nogent-le-Rotrou; n° 79, Châteaudun; n° 80, Fontainebleau; n° 81, Sens; n° 93, Le Mans; n° 95, Orléans; n° 109, Gien; n° 122, Bourges;

2° Six planches de coupes longitudinales se rapportant aux feuilles de Paris, Meaux, Beauvais, Rouen, Évreux et Neufchâtel;

3° Quatre planches de sections verticales annexes des feuilles de Paris, Meaux et Beauvais;

4° Quatre planches de perspectives photographiques;

5° Quatre planches de fossiles appartenant au terrain éocène parisien;

6° Enfin, dix tableaux de généralités (titre, avertissement, légende technique avec note explicative, légende géologique générale, système et mode d'application).

A l'exception de la feuille de Nancy, les feuilles de la Carte géologique publiées jusqu'à ce jour forment un groupe compact qui embrasse la Flandre, l'Artois, la Picardie, l'Ile-de-France, la Brie, la Beauce, le Gâtinais, la haute Normandie et le Perche. On y trouve également quelques parties du Maine, de la basse Normandie, de la Sologne et du Berri.

Cet ensemble comprend environ la sixième partie de la France et l'ensemble du bassin tertiaire parisien; il est assez vaste pour montrer une partie de la ceinture jurassique et crétacée qui entoure Paris et la partie française du bassin tertiaire anglo-flamand. Les extrémités des massifs paléozoïques de l'Ardenne et du Bocage Normand apparaissent sur deux feuilles : Maubeuge et Nogent, vers le N. O. et le S. O.

La plupart des feuilles qui le composent figuraient déjà à l'Exposition universelle de 1867. A cette époque, Élie de

Beaumont avait cherché, par la réunion des cartes géologiques départementales, à obtenir une carte géologique suffisamment détaillée du bassin de Paris; il avait eu recours, pour combler les lacunes résultant de l'absence de certaines cartes départementales et pour unifier les cartes existantes, à ses notes personnelles et à celles qui lui furent fournies par les ingénieurs placés sous ses ordres dix-huit mois seulement avant l'Exposition. Cet essai produisit une carte d'ensemble où les grands traits de la géologie du Nord de la France étaient indiqués, mais dont la précision était au-dessous de celle que permettait d'atteindre la grandeur de l'échelle de la carte topographique, et dans laquelle il n'était pas suffisamment tenu compte des connaissances acquises depuis la confection des cartes départementales qui avaient servi de base. Un complément d'explorations et une revision complète de la carte étaient donc nécessaires; le résultat de cette revision est le panneau exposé aujourd'hui. Si toutes les questions que soulève l'étude du bassin de Paris, notamment en ce qui concerne les terrains les plus récents, n'ont pas été résolues d'une manière complètement satisfaisante, la comparaison de la carte ancienne et de la carte actuelle met néanmoins en évidence un progrès sensible.

Dans la série déjà très nombreuse des subdivisions du terrain tertiaire, deux nouveaux termes ont été introduits : les sables à éléments granitiques, postérieurs au dernier terrain lacustre du bassin parisien, et les marnes de l'Orléanais, confondues jusqu'ici avec le calcaire de Beauce, dont elles formaient la partie supérieure. Par l'introduction de ce nouveau terme, la série parisienne se rapproche de

la série du S. O., et, par la couleur distincte que ce calcaire a reçue sur la carte, se trouvent accentuées, d'une part, la disposition générale des assises du bassin parisien à empiéter de plus en plus vers le Sud, et, de l'autre, l'indépendance du calcaire lacustre par rapport aux sables de la Sologne.

Le prolongement vers l'Est de chacune des assises qui avaient été reconnues aux environs de Paris a été suivi pied à pied; on sait que plusieurs d'entre elles disparaissent avant d'atteindre la grande falaise qui limite le bassin tertiaire du côté de la Champagne; la connaissance exacte des limites de chacune d'elles est indispensable pour déterminer l'importance, le sens et l'époque des oscillations du sol qui ont fait à diverses reprises émerger ou disparaître sous des eaux lacustres ou marines le bassin parisien. Les vallées profondes qui entament le plateau de la Brie, aussi bien au Sud qu'au Nord de la Marne, ont été explorées avec soin à ce point de vue. Des lambeaux non encore signalés de sables de Fontainebleau ont été indiqués sur ce plateau; il est intéressant de constater que de ce côté les sables ont dépassé notablement les meulières de la Brie, de sorte qu'ils arrivent au contact des marnes vertes et de la formation gypseuse.

Vers le Nord, l'épaisseur et le nombre des termes de la série tertiaire diminuent rapidement lorsqu'on s'éloigne de Paris; et le sous-sol est réellement constitué par la craie que recouvrent çà et là quelques lambeaux éocènes, intéressants à étudier parce qu'ils fournissent les seuls termes absolument positifs de comparaison entre le bassin parisien et le bassin belge; la singulière disposition de ces lambeaux

étroits au fond de poches de la craie, leur stratification inclinée et tourmentée, contrastant avec celle de la craie sous-jacente, ont été signalées.

Une étude détaillée des mouvements du sol ne pouvait être entreprise au moyen des anciennes cartes dans la vaste région qui comprend la Normandie, la Picardie et l'Artois. Une telle étude exige en effet que l'épaisseur des divisions représentées par des nuances distinctes ne soit pas assez forte pour masquer d'importantes dénivellations sous une couleur uniforme. Les subdivisions introduites dans la craie supérieure : craie à bélemnitelles, craie à micraster, craie marneuse, qui avaient été primitivement figurées par une teinte unique, ont permis de représenter sur la carte les nombreuses inflexions de la craie dans toute cette partie du bassin parisien.

Ces inflexions sont subordonnées à deux directions principales, dont l'une, de beaucoup la plus importante, est aussi celle de deux grandes lignes de failles : l'axe du Bray et celui de l'Artois; le tracé de ces failles et de celles de la Seine a été étudié avec soin; et, pour compléter la représentation graphique du sous-sol, on a figuré dans l'Artois et la Flandre des lignes de niveau représentant, d'après les renseignements fournis par l'étude de la surface et un grand nombre de sondages, la surface ondulée formée par une assise déterminée de la craie, ou plus exactement la surface de séparation du gault et de la craie de Rouen.

Les relevés géologiques sur le terrain des trente-six feuilles composant l'atlas ont été exécutés par MM. Fuchs, Potier, de Lapparent, Douvillé et Clérault, ingénieurs des Mines; par M. Gosselet, professeur de géologie à la faculté

des sciences de Lille; et par M. Guillier, conducteur des Ponts et Chaussées, au Mans. Le tracé des affleurements de la craie sous le Pas-de-Calais a été fait, d'après les reconnaissances exécutées en 1875 et 1876, pour le compte de l'Association française du tunnel sous-marin entre la France et l'Angleterre, par MM. A. Lavallée, ingénieur, membre délégué de l'association; Larousse, ingénieur hydrographe de la Marine; Potier et de Lapparent, ingénieurs des Mines.

Les planches de coupes longitudinales et de sections verticales ont été exécutées par les ingénieurs du service central.

Quant aux généralités, elles ont paru en 1874 pour partie, sous la signature et la responsabilité de M. de Chancourtois, alors ingénieur en chef des Mines.

ALPES FRANÇAISES.

FEUILLES DE GRENOBLE, VIZILLE, SAINT-JEAN-DE-MAURIENNE ET BRIANÇON.

L'ensemble des quatre feuilles de Grenoble, Vizille, Saint-Jean-de-Maurienne et Briançon comprend un spécimen à peu près complet de la constitution géologique des Alpes françaises. La surface représentée par ces quatre feuilles se partage entre trois régions naturelles : 1° la région des plaines et plateaux du bas Dauphiné; 2° la région des chaînes subalpines; 3° la région des chaînes alpines.

1. La région des *plaines et plateaux du bas Dauphiné,* dont un quart environ se trouve compris dans la partie N.O. de la feuille de Grenoble, est très uniforme dans sa constitu-

tion : elle est formée principalement par les assises moyennes et supérieures de la *molasse marine*, à l'état de grès tendre, à ciment calcaire ou de poudingues à cailloux parfaitement arrondis; leurs couches sont ondulées en grand, avec des inclinaisons généralement insensibles à l'œil. A la partie supérieure de ce groupe se trouve intercalé un dépôt d'eau douce, celui des *argiles à lignites* de la Tour-du-Pin, formant un horizon stratigraphique assez bien caractérisé sur un grand nombre de points; puis reviennent des sables et des poudingues identiques à ceux de dessous et alternant avec des marnes d'eau douce. Ces alternances de dépôts variés, succédant à la molasse marine, correspondent à une période d'exhaussement progressif, à un régime de lagunes et d'étangs littoraux, qui a été suivi d'une émersion générale. Les dépôts marins à fossiles *pliocènes* ne paraissent pas avoir pénétré dans les limites de la feuille de Grenoble, bien qu'ils soient aujourd'hui reconnus sur quelques points qui en sont peu distants du côté de l'Ouest. Cette région du bas Dauphiné est aussi remarquable par le grand développement des *alluvions anciennes* (vallée de la Côte-Saint-André et de Saint-Marcellin) et par celui des *dépôts glaciaires* qui ont couvert toute la région basse du département de l'Isère, à l'exception des plateaux de Bonnevaux et de Chambaran, situés au Nord et au Sud de la grande vallée de la Côte-Saint-André.

2. La région des *chaînes subalpines* comprend, dans les feuilles de Grenoble et de Vizille, les massifs calcaires de la Chartreuse, de Lans, du Royans, du Vercors, etc., limités à l'Est par le cours de l'Isère et celui du Drac, en amont de leur confluent à Grenoble.

Ces massifs sont formés principalement par un grand développement des étages inférieurs du *terrain crétacé :* l'étage *urgonien*, représenté par une grande masse de calcaire compact, qui constitue tous les traits orographiques les plus saillants; — l'étage *néocomien* (*néocomien* proprement dit et *valanginien*); — et un étage inférieur, non moins puissant, qu'on pourrait appeler *infra-néocomien*, comprenant les marnes à *Belemnites latus* et les couches à ciment de la Porte-de-France de Grenoble, qui correspondent aux couches de Berrias (Ardèche). L'ensemble de ces trois étages présente, en général, une épaisseur de 1 000 à 1 200 mètres. Le reste de la série crétacée est moins complètement développé : les *marnes aptiennes* n'apparaissent que sur quelques points de l'extrême Sud de la feuille de Vizille, mais deviennent plus importantes un peu plus au Midi, dans la feuille de Die, où elles semblent prendre la place du calcaire *urgonien*. Le *gault* est un horizon assez constant, mais toujours très mince. Les étages inférieurs et moyens de la *craie* sont irrégulièrement développés et manquent souvent, de sorte que la *craie blanche*, représentée par des calcaires sableux (*lauzes*) et des calcaires à rognons de silex, repose souvent directement sur le gault.

En dessous de la série crétacée ainsi constituée, le *terrain jurassique* offre aussi des caractères particuliers.

Dans les chaînons les plus occidentaux du massif de la Chartreuse, qui sont en réalité la continuation des dernières chaînes du Jura, on voit encore affleurer quelques indices des étages jurassiques supérieurs, tels qu'ils sont dans le Jura, et la dernière trace de cet état de choses est représentée par l'affleurement *corallien* de l'Échaillon, au

coude de l'Isère, à 16 kilomètres N. O. de Grenoble. Mais partout ailleurs, dans les vraies chaînes subalpines, l'assise incontestablement *jurassique* la plus élevée que l'on puisse reconnaître consiste en une grande masse de calcaires compacts, d'un brun noir, à filets spathiques, désignés souvent sous le nom de calcaires de la Porte-de-France de Grenoble, et dont la constance de caractères est bien connue sur toute la longueur des Alpes et dans les contrées méditerranéennes. Par leurs fossiles, ces calcaires correspondent à la zone à *Ammonites tenuilobatus* du Jura oriental et méridional; et l'ensemble des faits reconnus conduit de plus en plus à les considérer comme un équivalent synchronique d'une partie de l'étage *corallien*, auquel ils avaient été déjà anciennement attribués.

Entre ces calcaires et les assises crétacées les plus inférieures, — les couches de Berrias ou à ciment de la Porte-de-France, — il existe encore une zone de calcaires que leurs caractères pétrographiques ne distingueraient pas de la masse inférieure, mais qui contiennent un ensemble de fossiles propres (*Terebratula janitor*, *Ammonites ptychoïcus*, *A. Liebigi*, *etc.*). Leur classification, très discutée, ne paraît pouvoir s'adapter à aucune des divisions admises dans la série des formations du Jura ou du Nord de la France. Tout ce que l'on peut dire sûrement, c'est que, avec les assises *infra-néocomiennes* qui les recouvrent, ils doivent trouver place dans quelque partie de l'immense intervalle qui existe, dans le Jura, entre l'étage *corallien* et l'assise *valanginienne*, base de l'étage *néocomien* proprement dit.

En dessous des escarpements formés par les calcaires jurassiques de la Porte-de-France, on trouve les calcaires

argileux et les marnes de l'étage *oxfordien* bien caractérisé et une assise de schistes noirs qui représente le sous-étage *kellovien*. Il est assez rare, dans la région des chaînes subalpines, que l'on puisse apercevoir des assises plus basses : dans les deux feuilles de Grenoble et de Vizille, l'étage *bathonien* n'est représenté que sur la limite orientale de la région, par des calcaires noirs très pauvres en fossiles et de caractères douteux.

La vallée de l'Isère, de Grenoble à Moirans, coupe transversalement la région des chaînes subalpines. Sur la rive droite, le massif de la Chartreuse doit principalement son relief à de grandes *failles*, toutes orientées de même, déterminant autant de gradins de plus en plus élevés, de l'Ouest à l'Est : entre ces failles très rapprochées, les plissements n'ont pu s'opérer qu'incomplètement et sont toujours irréguliers. Sur la rive gauche, l'ensemble des massifs de Lans, du Royans et du Vercors montre la continuation d'une partie des mêmes failles, mais moins nombreuses et plus distantes, entre lesquelles se développent largement des voûtes régulières et des vallées de plissement, des formes orographiques analogues à celles des chaînes du haut Jura.

Des lambeaux de *molasse marine*, partageant toutes les dislocations des terrains crétacés, se retrouvent dans les replis de ces divers massifs, jusqu'à des altitudes de 1 500 mètres, et témoignent que les failles et les plissements qui ont façonné ces chaînes subalpines datent de la période même du dépôt de la molasse.

3. *Région des chaînes alpines.* — Les parties des feuilles de Grenoble et de Vizille situées sur la rive gauche de l'Isère et la rive droite du Drac appartiennent à la région

des *chaînes alpines*, ainsi que toute l'étendue des feuilles de Saint-Jean-de-Maurienne et de Briançon.

Cette région se distingue de la précédente par l'absence complète de la *molasse* et des terrains *crétacés;* et même, dans les limites de nos quatre feuilles, le terrain *jurassique* n'est représenté que par des étages inférieurs à ceux que nous avons énumérés dans la région des chaînes subalpines. L'existence de l'étage *bajocien* n'y est même attestée que par un très petit nombre de gisements fossilifères, tandis que le *lias* y est très développé, et les fossiles, bien que rares et souvent mal conservés, tendent à y indiquer l'existence de tous les divers étages de ce groupe. Le *trias*, rudimentaire sur sa lisière occidentale, y devient ailleurs très puissant, en revêtant des caractères spéciaux. Le *grès houiller* y est représenté par l'important étage des *grès à anthracite*. Enfin, les *terrains cristallins azoïques* y forment des massifs considérables qui comprennent les traits les plus continus et les plus saillants du relief.

Cette région peut être divisée longitudinalement en quatre zones, de largeur et d'importance inégales, délimitées par de grandes lignes de fracture ou *failles* avec lesquelles la distribution et les variations des divers terrains sont en rapport intime.

Première zone alpine. — Cette zone, la plus importante sur le versant français, comprend les divers massifs cristallins de ce versant : la chaîne de Belledonne ou des Alpes occidentales, s'étendant depuis Valbonnais (feuille de Vizille) jusqu'à Beaufort (feuille d'Albertville), suivant la direction N. 26° E.; — la chaîne des Grandes-Rousses, en Oisans, sur le prolongement de laquelle apparaît le petit massif de

Rocheray, près de Saint-Jean-de-Maurienne; — et enfin le grand massif du Pelvoux (feuille de Briançon). C'est à cette même zone alpine qu'appartiennent, plus au Nord, le mont Blanc et les Aiguilles-Rouges, les Alpes bernoises et le Saint-Gothard; et, au Sud, le massif des grandes Alpes maritimes.

Le caractère général de tous ces massifs est d'être formés de *schistes cristallins*, de *gneiss* et de roches granitoïdes offrant toujours un délit bien prononcé, parallèlement à la stratification des gneiss, avec lesquels elles alternent régulièrement et se lient par transitions insensibles. Les roches granitoïdes en filons y sont rares et très peu étendues. La stratification de ces roches anciennes de la première zone alpine est toujours très fortement inclinée : elles peuvent être considérées comme formant, dans leur ensemble, deux grands plis en forme d'A, rompus à leurs sommets et occupant chacun une largeur d'environ 25 kilomètres. La chaîne de Belledonne représente la pente *Ouest* du premier pli, à la pente *Est* duquel appartiendraient les Grandes-Rousses, le Rocheray et probablement aussi le mont Blanc. Le deuxième pli serait visible seulement dans le massif du Pelvoux.

Dans l'axe de chacun de ces massifs, on voit affleurer, comme roches fondamentales, des *gneiss granitoïdes* à feldspath orthose blanc et à mica noir brillant, passant à des gneiss feuilletés, puis à des *micaschistes*, avec couches de *calcaires saccharoïdes*, tandis que les pentes extérieures sont formées par un grand système de *talcschistes chloriteux*, qui renferme, comme roches subordonnées plus ou moins développées, des *schistes* et *gneiss amphiboliques* et des *protogines*

granitoïdes, alternant avec les *gneiss chloriteux*. Les protogines du Pelvoux, aussi bien que celles du mont Blanc, sont ainsi en dehors de l'axe du massif et ne sont, comme l'a dit Cordier, que de puissantes assises stratiformes, intercalées dans le grand étage des talcschistes.

Les *grès à anthracite*, représentant le *terrain houiller*, sont quelquefois en discordance bien sensible avec les schistes cristallins; mais le plus souvent leurs couches partagent exactement l'inclinaison de ces schistes et les dislocations qui les ont placés dans leur situation verticale ou très inclinée. Des bandes de *grès à anthracite* se trouvent ainsi pincées dans les replis des *schistes cristallins*, en alternance apparente avec eux. Ainsi les dislocations qui ont redressé les schistes cristallins des massifs de la première zone alpine sont généralement postérieures au *terrain houiller*.

Au contraire, les terrains secondaires se montrent souvent en couches horizontales, posées sur les tranches du *grès houiller* ou des *schistes cristallins*. Le *trias* est rudimentaire et manque souvent, par exemple, dans la plus grande partie de l'Oisans; quand il existe, il comprend des *grès durs, blancs* ou *bigarrés* (dits *quartzites*), des *dolomies* et des amas d'*anhydrite* et de *gypse*. Le *lias* est très puissant et principalement à l'état de schistes argilo-calcaires devenant souvent de véritables ardoises.

Les dépôts du *trias* et du *lias* ont eu lieu en couches horizontales, sur les tranches des *schistes cristallins* et du *grès houiller* déjà redressées à peu près comme nous les voyons aujourd'hui. Les mouvements ultérieurs ont consisté dans un exhaussement général et une dislocation du sol ancien par des *failles* suivant lesquelles les couches du *lias* et du

trias, flexibles, se sont affaissées et se sont adaptées, en se plissant, aux nouvelles formes de leur base disloquée : de telle sorte que ce n'est que sur quelques sommets et sur les plateaux étagés que l'on trouve encore ces terrains secondaires en couches horizontales, tandis que, sur les flancs des vallées, ils sont toujours extrêmement plissés et bouleversés.

Deuxième zone alpine. — Une *faille* parfaitement continue sur plus de 150 kilomètres de longueur, passant par Saint-Jean-de-Maurienne et par les cols de la Madeleine au Nord, et du Lautaret au Sud, montre les couches du *lias* de la première zone butant, en général, contre un affleurement de *trias* qui appartient à notre deuxième zone. Celle-ci, qui n'a qu'une faible largeur de 5 à 12 kilomètres, est formée principalement de *trias* et de *lias* très bouleversés, sous lesquels n'apparaissent que de rares lambeaux de *grès houiller* ou de *schistes cristallins*. Vers la limite Nord de la feuille de Saint-Jean-de-Maurienne, aux environs de Moutiers, on commence à voir apparaître dans l'étage supérieur du *trias* le type des *schistes gris lustrés,* qui se développe énormément dans la continuation de cette zone à travers la Tarentaise, la vallée d'Aoste et le Valais. Le *lias* tend à passer à l'état de calcaire compact, plus ou moins magnésien; la transition se montre nettement dans le massif des Encombres, entre Saint-Jean et Saint-Michel, et la transformation est complète dans son prolongement au Sud, par Valloires et le col du Galibier. Enfin, c'est encore à la deuxième zone qu'appartient la terminaison de terrain *nummulitique* qui s'avance depuis le littoral méditerranéen jusqu'au versant S. E. du massif du Pelvoux et con-

tinue encore en une bande étroite, finissant entre Saint-Jean-de-Maurienne et Moutiers, au pic du Cheval-Noir.

Ces divers terrains de la deuxième zone alpine ont été très bouleversés et sont généralement repliés et renversés sur eux-mêmes au bord d'une autre grande *faille* qui les sépare de la troisième zone en passant par Saint-Martin-de-Belleville, Saint-Michel et le Monestier-de-Briançon.

Troisième zone alpine. — Cette zone est formée principalement par les *grès à anthracite :* c'est la grande bande de grès qui s'étend à travers le Briançonnais, la Maurienne, la Tarentaise, le haut de la vallée d'Aoste, et finit, en se rétrécissant dans le Valais, aux environs de Sion. Sa plus grande largeur est de 18 kilomètres entre Saint-Michel et Modane. Le *terrain houiller* y atteint une épaisseur de plus de 2 000 mètres; il supporte des lambeaux plus ou moins étendus de *trias* et de *lias*, et on peut le voir sur quelques points, particulièrement à Modane, reposer sur des *schistes cristallins*. Contrairement à ce que nous avons constaté dans la première zone alpine, tout cet ensemble de terrains se montre en stratification sensiblement parallèle. Il en est ainsi déjà dans les rares affleurements de *grès houiller* ou de *schistes cristallins* de la deuxième zone; et de même aussi dans la quatrième zone, les terrains secondaires reposent toujours en stratification sensiblement parallèle sur les schistes anciens.

A Modane et sur plusieurs autres points, les *grès à anthracite* sont nettement limités, à l'Est, par une *faille* contre laquelle butent les couches du *trias* et du *lias* de la quatrième zone. Celle-ci est donc affaissée par rapport à la troisième zone, comme la seconde l'est elle-même à l'Ouest. Ainsi la

zone des *grès à anthracite* représente réellement la clef de voûte de l'ensemble de nos Alpes, de part et d'autre de laquelle les autres zones sont placées en gradins descendants, vers l'Italie comme du côté de la France.

Quatrième zone alpine. — Cette zone est la plus large de toutes : elle a environ 60 kilomètres de largeur moyenne. Sa limite occidentale passe par Briançon, Modane et Bozel. Elle ne paraît jusqu'à présent contenir aucun gisement bien caractérisé de *grès à anthracite* appartenant au *terrain houiller*. Les *schistes cristallins* y sont recouverts directement et parallèlement par le *trias*, énormément développé, avec le facies de *schistes gris lustrés* qu'il présente dans la deuxième zone, en Tarentaise : tels sont les *schistes lustrés* du Queyras, de Bardonnèche, de la haute Maurienne, à partir de Modane, etc., renfermant de nombreux amas de *gypse* et superposés à des *dolomies* et à des *quartzites*, comme ceux du *trias* des autres zones. Le *lias* est représenté par une grande masse de calcaires compacts, continuation de ceux des Encombres et du Galibier (*calcaires du Briançonnais*). Des massifs de schistes cristallins percent dans les déchirures de ces terrains, à la manière des voûtes centrales dans les chaînes du Jura : par exemple, le massif du mont Viso, certaines parties du massif de la Vanoise, le mont Pourri, etc. La majeure partie du versant italien est formée par une large bande de *schistes cristallins*, sur la pente Ouest desquels le *trias* repose en stratification parallèle et qui, d'autre part, bordent immédiatement la plaine depuis Saluces jusqu'au lac Majeur.

Les relevés géologiques sur les feuilles de Grenoble, Saint-Jean-de-Maurienne, Vizille et Briançon, qui com-

prennent les Alpes du Dauphiné et de la Savoie, ont été exécutés par M. Lory, professeur de géologie, doyen de la faculté des sciences de Grenoble, membre correspondant de l'Institut et attaché au Service de la Carte géologique de la France.

RÉGION DES ALPES MARITIMES

À L'EST DU VAR ET DE LA VÉSUBIE.

La carte géologique exposée comprend la portion du département des Alpes-Maritimes située entre le Var et la Vésubie à l'Ouest, la frontière italienne au Nord et à l'Est, et la mer au Sud; elle est à l'échelle du $\frac{1}{50\,000}$.

Les terrains que l'on rencontre dans cette portion du département des Alpes-Maritimes appartiennent aux périodes

Quaternaire,

Tertiaire,

Secondaire,

Primaire,

et à différentes roches éruptives et cristallines.

Terrains quaternaires. — Les terrains quaternaires comprennent, outre les alluvions récentes qui remplissent les lits des torrents et forment les plages, des brèches plus ou moins compactes qui se rencontrent en nombre de points dans les fissures que présentent les roches jurassiques.

Ces brèches sont en général formées de débris des roches en contact, cimentés par des concrétions calcaires ou par un ciment ferrugineux plus ou moins rouge. Sur le flanc Ouest du mont Boron, les éléments de cette brèche sont des galets très arrondis.

En beaucoup d'endroits, ces brèches renferment des ossements et des coquilles terrestres, souvent mélangées avec des coquilles marines.

On peut citer comme présentant des exemples de ces brèches les rochers profondément fissurés qui se trouvent à l'Ouest du port de Nice et le versant Sud et Ouest du mont Boron.

Terrains tertiaires. — Les terrains appartenant à l'époque tertiaire peuvent être séparés, dans la contrée dont nous nous occupons, en deux groupes bien distincts et que nous n'avons jamais rencontrés en rapport immédiat.

Le premier de ces groupes se compose, en partant des couches supérieures :

1° De bancs d'argile sableuse d'une couleur grisâtre ou de bancs de sable jaune, fossilifères, intercalés, sur certains points, dans des bancs de poudingues;

2° De bancs de poudingues ou de sable compact alternant avec des bancs de sable fin ou graviers plus friables, sans fossiles;

3° De bancs de sable fin ou d'argiles bleuâtres très fossilifères.

Des types de ces terrains peuvent être signalés :

Pour les premiers, sur la route de Nice à Aspremont, vis-à-vis de la chapelle Saint-Pancrace, sur le chemin d'Aspremont à Tourrette, sur le flanc Ouest du mont Boron;

Pour les seconds, dans la vallée du Magnan à Roquebrune;

Pour les troisièmes, au confluent du Laghet et du Paillon, et dans les vallons de la Mantega et de la Madeleine, près de Nice.

D'après les fossiles recueillis dans ces couches et leur superposition, elles paraissent devoir être classées dans le pliocène, celles de la troisième série étant plus particulièrement assimilables aux couches subapennines.

Le deuxième groupe des terrains tertiaires comprend :

1° Des bancs de grès souvent schisteux alternant avec des bancs de sable plus ou moins grossier, sans fossiles ;

2° Des bancs de calcaire très argileux d'une couleur gris bleuâtre et très délités à la surface, sans fossiles;

3° Des bancs de calcaire gris fer siliceux ou légèrement argileux, avec nombreux fossiles.

La série des types de ces terrains se rencontre le long de la route de Nice à Turin, entre le pont de Fuont-de-Jarrier et l'Escarène.

Aucun fossile n'ayant été trouvé par nous dans les couches comprises sous les n°s 1 et 2, il nous est par là même impossible d'établir entre elles et les divisions admises une assimilation certaine.

Cependant il semble, d'après leur position, que l'on pourrait les considérer comme faisant partie de l'éocène moyen supérieur.

Quant aux couches comprises sous le n° 3, d'après les fossiles que l'on y rencontre, elles paraissent correspondre au calcaire grossier parisien.

Terrains secondaires. — Les terrains secondaires de la région considérée se rapportent aux époques crétacée et jurassique.

Au point de vue du facies, les couches crétacées peuvent être réparties comme suit :

1° Assises épaisses d'un calcaire argileux souvent dur,

jaunâtre à la surface et d'un gris plus ou moins foncé intérieurement, séparées par des lits argileux;

2° Assises de faible épaisseur formées de rognons d'un calcaire argileux gris foncé intérieurement, mais présentant à l'extérieur une coloration jaune clair tranchant fortement sur les couches argileuses plus puissantes et d'un gris foncé qui alternent avec elles;

3° Couches schisteuses grises, souvent très glauconieuses au point d'en paraître noires et de devenir tout à fait sableuses, reposant sur des bancs d'un calcaire très dur, d'un aspect jaunâtre ou verdâtre suivant l'état d'oxydation des grains de glauconie dont il est criblé. Sous ces couches calcaires se présentent des bancs d'un calcaire légèrement argileux, d'un gris bleu foncé.

Comme série à peu près complète de ces couches, on peut indiquer la montée du col de Braus, en partant de la Roche-Taillée, près de la chapelle de Saint-Laurent.

Dans toutes ces couches on rencontre des fossiles, mais principalement dans les couches inférieures.

D'après les fossiles que nous avons recueillis, les assises supérieures correspondent à la craie blanche et à la craie marneuse, les assises moyennes plus particulièrement à la craie de Rouen, enfin les assises inférieures au gault et au néocomien.

Également au point de vue des caractères physiques, les couches jurassiques peuvent être réparties comme suit :

1° Bancs minces d'un calcaire dur, jaune clair ou gris rosé;

2° Bancs épais d'un calcaire blanc ou gris clair, généralement dolomitique et passant à la dolomie fragmentaire et même sableuse dans le voisinage des failles et fractures;

3° Bancs minces de calcaires jaune clair, séparés par des lits argileux très minces.

Ces colorations, qui peuvent être considérées comme celles des assises jurassiques dans le voisinage du littoral, passent au noir lorsque l'on marche vers le Nord, c'est-à-dire vers la grande ligne de faîte des Alpes maritimes.

Les fossiles sont peu nombreux dans les couches jurassiques, et par là même leur assimilation aux étages admis est difficile.

Il semble toutefois, d'après les fossiles recueillis, que les couches désignées sous les n°s 1 et 2 peuvent être rangées dans le corallien et les autres dans l'oxfordien.

Des types de ces couches peuvent êtres signalés sur la route de Nice à Levens, entre Saint-André et Tourrette, et sur la route de Nice à Turin, au pied de la montée du col de Braus à la Roche-Taillée.

Terrains primaires. — Le permien, en suivant la même marche que précédemment, peut, d'après le facies de ses couches, être partagé comme suit :

1° Couches de grès dur à coloration variant entre le blanc, le gris, le vert et le rose;

2° Couches d'un schiste lustré d'un rouge lie de vin avec veines verdâtres;

3° Couches de grès rouge grossier à grains souvent très volumineux.

Nous n'avons jamais trouvé de fossiles dans ces terrains; mais, d'après les études faites par M. Potier, ingénieur des Mines, sur les versants de l'Estérel, ces assises paraissent devoir être rangées dans le permien.

Un des meilleurs points pour étudier ces terrains est le

parcours de la route de Nice à Turin, entre Fontan et la frontière.

Roches éruptives et terrains cristallins. — Les roches éruptives et les terrains cristallins se présentent, dans la région que nous considérons : pour les premières, à l'état de trachytes à la pointe d'Aggio et dans le voisinage; et, pour les seconds, à l'état de gneiss et micaschistes traversés par des filons de granit, au-dessus de Berthemont et de Saint-Martin-Lantosque.

Matières minérales. — Parmi les matières minérales plus ou moins facilement exploitables, nous nous contenterons de signaler quelques lignites (probablement crétacés) au col de Villefranche, au mont Agel, etc.; quelques filons de cuivre natif et carbonaté dans le permien au-dessus de Roquebilière, d'orpiment dans le crétacé près Luceran, enfin de gypse, au sujet duquel nous croyons devoir entrer dans quelques détails, vu l'importance des gisements.

Ces gisements se trouvant toujours situés sur des lignes de dislocation des terrains et recouverts de conglomérats, leur position, par rapport aux roches environnantes, est par là même des plus difficiles à déterminer.

Toutefois cette circonstance, jointe à ce fait de l'existence, au milieu du gypse, de fragments des roches voisines présentant tous les degrés de passage de la roche pure au gypse pur, nous a fait penser que ces gypses avaient été formés sur place au détriment des roches disloquées, et, quel que soit leur âge, par des éruptions d'eaux minérales et peut-être de gaz qui se firent jour suivant ces lignes de fracture.

Cette manière de voir explique pourquoi, comme sur la route de Cimies par exemple, la roche jurassique paraît

être la base du gypse, tandis que sur la route de Sospel à Menton, au-dessous de la chapelle de Saint-Pancrace, c'est au contraire aux dépens de la roche crétacée que le gypse est formé.

Ce phénomène de transformation des roches calcaires en gypse suivant les directions des dislocations du sol explique également pourquoi, dans le voisinage des failles et fractures, les roches jurassiques sont généralement surdolomitisées, au point que le calcaire a complètement disparu et que la roche se présente fréquemment à l'état sableux.

Lignes de faîte, de thalweg et de soulèvement. — La portion du département des Alpes-Maritimes dont nous nous occupons présente de nombreuses lignes de dislocation et de failles bien accusées.

Voici, à titre d'exemples, quelques-unes de celles que nous avons observées.

En premier lieu, nous signalerons les failles constituant trois gradins principaux plongeant vers le Nord et qui s'étendent depuis le rocher du château de Nice jusqu'au cap Martin.

Si à ces failles on rattache celles qui déterminent la vallée de Saint-André et celle de la Vésubie jusqu'à Saint-Jean-de-la-Rivière, puis celle du Paillon entre Peille et l'Escarène, on constitue ainsi un vaste promontoire dont les bords sont formés par les à-pic jurassiques, et que le terrain crétacé, puis le terrain nummulitique surmontent en superposition presque régulière.

Le même phénomène se reproduit sur une moins vaste échelle autour du col de Braus.

Bien qu'au premier abord les contours de ces failles ne

paraissent pas, par la variété des directions qu'elles affectent, obéir à des lois bien caractérisées, on ne tarde pas cependant, en les examinant de près, à reconnaître que certaines directions y sont accusées avec une persistance remarquable, et que ces mêmes directions ont une relation nettement marquée avec les diverses lignes de thalweg et les lignes de faîte.

C'est ainsi, par exemple :

1° Que si du cap d'Aggio, où le trachyte est venu au jour, on mène une ligne jusqu'à la pointe de la Corne-de-Bouc (2 460 mètres), placée sur la frontière Nord, cette ligne passe par la Tête-de-Chien (250 mètres), par le mont Agel (1 148 mètres), par le mont Baudone (1 263 mètres), par la vallée de Castillon à Sospel, par la crête qui s'étend du Beolet (1 133 mètres) à la cime de la Gonella (1844 mètres) et aboutit à la cime de l'Abisso, sur la grande chaîne;

2° Que si, par le château de Villeneuve-Loubet, où existe également une éruption de trachyte, on mène une parallèle à la première de ces lignes, on la voit passer par des points non moins remarquables, à savoir :

L'à-pic de la Gaude, derrière Saint-Jeannet (834 mètres); la Cime (833 mètres), près Bonson; l'embouchure de la Tinée, le contrefort qui de la Tour s'étend jusqu'au col de Monei (1 470 mètres), le mont Cianorias (1 998 mètres), la Balme de la Frema (2 255 mètres), enfin les cimes de Frema-Morta, sur la grande chaîne;

3° Que la ligne de faîte de la chaîne principale des Alpes maritimes, entre les deux lignes que nous venons de signaler, est dirigée suivant une perpendiculaire à leur direction, et

qu'il en est de même pour la vallée du Var dans son parcours de l'Ouest à l'Est;

4° Que ces deux directions se retrouvent, ainsi que l'on peut le voir sur la carte, dans les failles situées le long de la route de la Corniche, le long du massif du mont Agel, etc.

A côté de ce premier groupe de directions, nous devons en signaler un autre nettement déterminé : 1° par la ligne qui suit le Bévera de la frontière à Sospel et va border les à-pic du plateau qui s'étend derrière Grasse et Saint-Jeannet; 2° par la ligne qui, partant du mont Panaglia, enfile la vallée de Saint-André et une partie de celle de la Tinée.

Les tracés géologiques ont été faits par M. Cameré, ingénieur des Ponts et Chaussées. La collection des roches et des fossiles, recueillis au nombre d'environ deux mille, a été donnée à l'École des Mines.

FEUILLE D'ANTIBES.

La feuille d'Antibes comprend toute la région montagneuse connue sous le nom de l'Estérel; le massif cristallin des Maures vient s'y perdre dans la mer au S. O., tandis que les hauts plateaux calcaires du N. O. se rattachent déjà aux Alpes; à l'Est, enfin, les terrains tertiaires les plus récents se présentent avec les caractères qu'ils possèdent dans le comté de Nice et dans les collines subapennines; on rencontre dans cette feuille, malgré son peu d'étendue, le plus grand nombre des terrains sédimentaires et une grande variété de roches éruptives.

Terrains sédimentaires. — Les *schistes micacés*, ou plus exactement les schistes à séricite, sont le terrain le

plus ancien. Ils forment bordure autour du bassin houiller du Reyran. La roche est tendre, facilement altérable par les agents atmosphériques, qui lui donnent une teinte verdâtre; le quartz y est rare et le développement de la séricite très variable; aussi passent-ils par place à de véritables phyllades ou schistes argileux; ce passage est très net dans les Maures, où cette formation présente une plus grande étendue. Au voisinage des gneiss, on peut suivre une bande où la séricite est développée en très grande quantité et accompagnée de minéraux : grenats, staurotide, disthène, postérieurs à la formation de la roche. On y rencontre encore, à proximité des nombreux filons de pegmatite qui les traversent, de la tourmaline et des noyaux feldspathiques.

Le *terrain houiller* les recouvre dans les vallées du Reyran, du Briançon et des Vernatèles; la partie septentrionale du bassin ne paraît contenir qu'une seule couche de houille maigre, dont les affleurements sont toujours voisins de la limite inférieure du terrain houiller, et encore ces affleurements ne sont-ils connus que sur la lisière orientale du bassin, où les couches sont fortement redressées; au-dessus de la couche de houille sont des grès fins, feuilletés et noirâtres, renfermant de rares bancs de grès plus grossiers, de couleur claire. La même couche est exploitée à la mine des Vaux, où son épaisseur moyenne est de 2 mètres; le système schisteux et à grain fin qui surmonte la couche est recouvert par une masse considérable de poudingues à gros éléments, qui occupe la plus grande partie de la surface où affleure le terrain houiller. Dans la partie méridionale du bassin, on retrouve sous le poudingue le

système schisteux, qui contient à sa partie supérieure une couche épaisse de schistes bitumineux exploités sur les bords du Reyran, dans la partie la plus méridionale du bassin.

Au Nord du grand éperon cristallin qui rétrécit le bassin houiller, on trouve, au même niveau, des affleurements de schistes mélangés de filets de houille, qui n'ont pas encore été étudiés en profondeur. Enfin, au-dessus des poudingues, sur la lisière orientale du bassin, on retrouve un système de grès et de schistes contenant plusieurs couches de houille maréchale.

Ce petit bassin houiller est traversé par plusieurs accidents importants. Une faille, ou un système de failles parallèles et rapprochées, le parcourt du Nord au Sud ; cette faille limite le bassin sur une partie de la lisière orientale et fait buter contre les schistes cristallins les couches les plus élevées de la série ; la couche de houille maigre n'est connue jusqu'ici que dans un lambeau épargné par la faille qui, dans le vallon des Vaux, s'écarte de la lisière pour pénétrer dans le terrain houiller. La plus grande partie du terrain houiller se trouve à l'Ouest de cette faille principale et est accidentée par un système de failles dirigées vers le N. O., perpendiculaires à la direction générale des couches et accompagnées de rejets importants, tous de même sens, le prolongement méridional des couches étant reporté à l'Est.

Le terrain houiller a de plus été traversé par une roche éruptive dont les dykes ont épousé les deux directions des fractures qui viennent d'être signalées. Cette roche a altéré, en les chargeant de silice et de carbonate de chaux, les

grès et la houille elle-même; elle est essentiellement composée d'un feldspath triclinique, dont la nature n'a pu être déterminée, et de quartz cristallisé. Son âge est aussi difficile à fixer; aucun galet de la roche n'a été trouvé jusqu'ici dans les poudingues inférieurs au muschelkalk.

Le terrain permien est intimement lié aux porphyres, dont les débris joints à ceux des gneiss le constituent presque entièrement; au milieu de ces assises arénacées, on peut suivre une masse de schistes rouges presque sans interruption depuis les environs de Cuers jusqu'à Agay. On voit nettement, à l'Ouest de Vidauban, ces schistes reposer sur les grès à cailloux gneissiques et porphyriques de la colline de Sainte-Brigitte; tout porte à penser que les conglomérats qui forment le massif puissant de la montagne de Roquebrune sont également inférieurs à ces schistes. Dans le ravin du Gargalong, entre Saint-Raphaël et Agay, on trouve de même des galets porphyriques à la base des schistes, et, en se rapprochant de l'Estérel, ceux-ci surmontent des conglomérats et des tufs également porphyriques. Ces schistes sont généralement assez durs vers la base pour fournir des dalles, tandis que la partie supérieure est riche en blocs calcaires, assez volumineux et assez nombreux pour avoir donné lieu à quelques exploitations au pied de l'Estérel.

La présence de cette assise schisteuse permet de distinguer dans le terrain permien une série inférieure aux schistes et une série supérieure; c'est au milieu des conglomérats inférieurs que se trouvent intercalés des grès et des psammites avec empreintes végétales, parmi lesquelles dominent les Walchia; des fragments de bois silicifiés s'y

rencontrent également. En quelques points, près des Adrets et au voisinage du Blavet, à l'Ouest de Bagnols, les conglomérats paraissent dépourvus de porphyre; mais ce caractère négatif est sans valeur, car on peut, dans les masses de Roquebrune et de Vidauban, certainement postérieures aux porphyres, rencontrer des bancs qui en sont dépourvus; au contact de ces conglomérats, les terrains sous-jacents, gneiss, micaschistes ou terrain houiller, sont toujours fortement attaqués et rougis; les feldspaths sont kaolinisés, et les micas perdent leur éclat et leur transparence.

Dans la série supérieure, il n'existe pas de conglomérats ni de brèches, mais seulement des poudingues, qui contiennent des fragments de gneiss, de micaschiste, de porphyre et, en certains points, de mélaphyre. C'est dans la plaine de Fréjus, sur le littoral, entre Saint-Raphaël et le Darmont, que cette série est bien développée; les poudingues y sont séparés par quelques bancs argileux et micacés, généralement rouges.

Le *trias* est, comme partout, subdivisé en trois étages : le grès bigarré, le muschelkalk et les marnes irisées. Le *muschelkalk* est essentiellement calcaire et dolomitique ; c'est dans la partie supérieure, constituée par de petits bancs calcaires noirs flambés de jaune, que se rencontre la lumachelle à *Terebratula vulgaris* et *Encrinites liliiformis;* cette partie calcaire est très généralement exploitée pour la fabrication de la chaux ; vers le bas, le muschelkalk devient dolomitique et repose sur de véritables cargneules.

Au-dessous de celles-ci se trouvent quelques lits marneux, verts, jaunes et violets, alternant avec des dolomies suffi-

samment épaisses pour donner naissance à un niveau d'eau, et enfin une faible épaisseur de grès bigarré de rouge et de blanc et contenant beaucoup de gravier quartzeux. Ce système recouvre immédiatement d'autres grès à noyaux porphyriques et des grès argileux qui appartiennent au terrain permien, ou bien les schistes rouges, ou même directement le gneiss dans les environs de Bagnols.

Au-dessus des calcaires du muschelkalk se développe un système de *cargneules* et de *marnes irisées* avec amas gypseux qu'on peut suivre au pied de la longue terrasse qui court de Tourrette, par Grasse, jusqu'aux environs de Cannes, bien qu'il soit souvent masqué par les éboulis de l'infralias ou par des travertins; un gros banc calcaire surmonte le système gypseux et supporte des grès contenant des indices de combustibles, reconnus partout au-dessus des gypses et associés à des nodules ferrugineux.

Des marnes vertes et noires, des calcaires en plaquettes, surmontés par une lumachelle, leur succèdent immédiatement : c'est la zone à *Avicula contorta*, de laquelle sortent toutes les grandes sources de la région; au-dessous de la lumachelle se trouvent des assises calcaires, puis des dolomies de couleurs variées, et enfin de gros bancs de calcaire très siliceux, assez résistants pour avoir été exploités comme pierres à meule; leur caractère minéralogique constant en fait un horizon précieux : ils renferment quelques empreintes de bivalves, qui doivent les faire rapporter, comme les assises inférieures, à l'infralias.

Un petit lit d'argile rose et verte sépare l'infralias de l'oolithe inférieure; celle-ci est formée de dolomies à larges facettes, que surmontent des calcaires à gros silex bran-

chus; les polypiers, les baguettes d'oursins, les pentacrinites y sont fréquents; mais les fossiles déterminables n'y ont été rencontrés qu'en dehors des limites de la feuille. La dolomie occupe quelquefois toute l'épaisseur de la formation : les silex paraissent alors profondément altérés, et même dissous.

La *grande oolithe* débute par des argiles noires, avec bois fossiles, pyrites et gypses; ces argiles prennent, aux affleurements, des couleurs qui rappellent celles des marnes irisées; soit seules, soit mélangées aux argiles pliocènes, elles alimentent d'importantes fabriques de poterie; des calcaires marneux remplis d'une *Ostrea*, voisine de la *Costata*, de *Pecten*, *Hinnites*, *Pholadomye* et *Trichites*, les surmontent; ils passent insensiblement à des calcaires plus purs d'un blanc jaunâtre avec points spathiques renfermant la *Rhynchonella decorata* et qui fournissent des pierres de taille et de la pierre à chaux; puis le calcaire devient dolomitique, gris et vacuolaire.

Les dolomies supportent directement, dans les environs de Biot, un calcaire blanc, avec nérinées et coraux, qu'on rapporte au corallien et qui est le dernier terme de la série jurassique.

Le *terrain crétacé* manque complètement.

Le *terrain tertiaire* est représenté par deux étages : l'un éocène, l'autre pliocène, ces deux étages discordants entre eux et avec les terrains sous-jacents, qui ont été profondément ravinés avant le dépôt du terrain tertiaire. L'éocène est fossilifère : il contient, avec *Nummulites striata*, *Orbitoïdes sella*, *Rotulina spirulæa*, des *Schizaster* et *Echinocyamus*, dans des grès composés de grains de quartz cimentés par

du calcaire; celui-ci est plus abondant dans les parties marneuses et schistoïdes du haut de l'étage, où abondent spécialement la rotuline et les orbitoïdes. Sous les grès à nummulites sont des sables grossiers, quartzeux, bariolés de blanc et de rouge, cimentés par du kaolin et contenant par place d'assez grandes quantités de mica qui décèlent leur origine granitique; d'épais conglomérats à gros éléments jurassiques et crétacés sont intercalés dans ces sables, surtout vers leur base, tandis qu'au sommet, sous les grès nummulitiques, se rencontrent des bancs de calcaire siliceux, d'eau douce probablement.

Le *terrain pliocène* est constitué par les marnes bleues renfermant la faune bien connue de Biot, surmontées de calcaires marneux à *Amphystegina Haueri* et de lumachelles à *Ostrea cochlear, Pecten dubius*, formant de véritables faluns. Au-dessus de ces calcaires, qui constituent les contreforts des coteaux à l'Ouest de la route d'Antibes à Biot, on rencontre quelques lambeaux de cailloux roulés, qui semblent des résidus de la formation des poudingues qui recouvrent les marnes subapennines vers Villeneuve et Cagnes. On a assimilé au terrain pliocène des amas d'argiles blanches qui remplissent des fentes dans le terrain jurassique au N. E. de Cannes et qui renferment, avec des blocs jurassiques, des galets de calcaire tertiaire et de grès nummulitique. Le terrain quaternaire peut être décomposé en deux assises : l'une inférieure, composée de cailloux roulés, de sables et d'argiles sableuses; l'autre, beaucoup plus étendue, renferme des cailloux à peine émoussés, et couvre toutes les plaines, tandis que l'assise inférieure n'existe que dans les vallées. Les argiles passent latéralement à des tra-

vertins, dans les vallées de la Siagne, de l'Argens et du Riou.

Vers l'embouchure de la Siagne et dans le bassin de la Brague, des sables fins, micacés, superposés aux marnes pliocènes, dont ils sont séparés par un lit de cailloux roulés et surmontés de lits de galets, paraissent également quaternaires. A cette période appartiennent enfin les brèches osseuses du phare de la Garoupe.

Terrains éruptifs. — Le *gneiss* de Cannes forme plusieurs massifs séparés par des terrains récents : l'un comprend les collines qui dominent Cannes et les montagnes de Tanneron; un second, les environs de Bagnols, vers Saint-Paul, à l'Ouest, et le Reyran à l'Est; un troisième enfin dépend du massif des Maures. La roche est composée de mica bronzé formant des feuillets presque continus, séparés par un magma grenu d'orthose, d'oligoclase et de quartz; les feuillets de mica ne sont point rigoureusement parallèles, mais s'anastomosent de manière à laisser entre eux des lentilles où les cristaux acquièrent une plus grande taille; leur espacement est également irrégulier, et ils disparaissent parfois complètement, particulièrement sur les bords du massif, de manière à passer à de véritables leptynites; sous cette forme, la roche constitue aussi des filons minces dans les schistes.

Le gneiss est percé dans le massif des Maures par de nombreux filons d'amphibolite, parfois schisteuse, et, dans toute la région, par des filons de pegmatite (tourmaline fréquente); ces roches percent également les schistes, l'amphibolite paraissant plus récente que la pegmatite.

Le *porphyre rouge quartzifère*, avec nombreux cristaux d'orthose, rouge ou blanc, adulaire ou chatoyant, perce tous les terrains, y compris les couches les plus inférieures du terrain permien, qui sont cependant composées en partie de ses débris; on peut trouver, enveloppés dans les porphyres, des schistes qui, à peu de distance, sont superposés à des conglomérats porphyriques.

Ces porphyres sont caractérisés par l'abondance des cristaux qu'ils renferment; la pâte est très variable comme couleur (quoique généralement rouge) et comme ténacité : tantôt elle paraît formée de cristaux microscopiques, tantôt elle est amorphe, avec rares sphérolites.

La *pyroméride* est postérieure aux schistes rouges et aux porphyres; on voit nettement, dans la région qui s'étend entre le Theoulé et la route d'Italie, la pyroméride reposer sur les conglomérats et les grès porphyriques dans lesquels sont intercalés les schistes à empreintes de Walchia, qu'on voit également coupés par des filons de cette roche, et l'on observe la même superposition en gravissant les pentes Sud de l'Estérel; là un épais système de grès, plus ou moins schisteux, avec galets porphyriques et plongeant au Sud, s'appuie sur le porphyre des sommets pour passer sous la pyroméride qui s'étend à la base du massif; celle-ci coupe en plusieurs points les schistes rouges dans la plaine.

Sous ce nom de *pyroméride* est désignée une roche toujours rubanée en grand, ne contenant que de rares cristaux de quartz, et dont le rubanement est produit par l'alignement de globules dont la grosseur varie depuis 1 centimètre jusqu'à une fraction très petite de millimètre; les plus gros globules se trouvent dans le voisinage des pech-

steins du col de Grane, pechsteins qui ne sont qu'un accident de la pyroméride.

En filons minces, le caractère globuleux de la roche disparaît, mais la texture rubanée reste toujours visible.

Le *mélaphyre*, si l'on désigne provisoirement sous ce nom toutes les roches pyroxéniques qui traversent le terrain permien de l'Estérel, y est abondamment répandu sous forme de filons et de nappes; les grès de la plaine de Fréjus et du littoral, à l'Est de Saint-Raphaël, sont traversés par des filons de roche tantôt compacte, tantôt spilitique; le grain de la roche est quelquefois égal, ou bien elle prend le caractère porphyroïde par le développement de cristaux de labrador; mais, en même temps, ces grès renferment des galets de mélaphyre avec les porphyres et les gneiss; l'âge de ces mélaphyres est donc bien déterminé. Il n'en est pas de même de ceux qui forment des filons, soit dans la pyroméride, soit dans les schistes rouges et les conglomérats porphyriques, et qui forment au-dessus de ces derniers des mamelons ou des nappes qui ne paraissent point avoir été recouverts.

Le *porphyre bleu* des Romains fait partie d'une masse éruptive de faible étendue, au voisinage du Darmont, et dont l'aspect est variable : dans l'Ouest du massif, où est située la carrière des Romains, de gros cristaux d'oligoclase et de quartz bipyramidé sont disséminés dans une pâte bleuâtre; à l'Est, la roche est entièrement cristalline; l'amphibole y forme des cristaux aussi développés que le feldspath, et le quartz devient plus rare; cette variété granitoïde est spécialement exploitée pour pavés; bien qu'en plusieurs points la roche paraisse supporter les grès per-

miens, des coupes nettes montrent qu'elle coupe tantôt les grès, tantôt les schistes, tantôt les mélaphyres; l'analogie de ces roches et des dacites tend à leur faire attribuer un âge tertiaire.

Enfin, dans les environs de Biot et au cap d'Antibes, on rencontre en filons et en conglomérats une andésite, qui a percé le terrain nummulitique sur lequel ses conglomérats se sont épanchés, mais qui se trouve en fragments roulés dans la molasse.

On connaît des filons de spath-fluor dans les conglomérats porphyriques, les porphyres et les gneiss; on ne les connaît métallifères que dans ceux-ci; ils renferment alors de la galène et de la blende; des filons de sulfate de baryte, également métallifères, et des filons de bioxyde de manganèse ou simplement ferrifères dans les environs de Biot et d'Antibes; un gisement de fer oligiste et de pyrite a été l'objet de recherches près d'Agay; les dacites du Darmont contiennent du fer oligiste et des mouches de cuivre.

Les explorations géologiques sur la feuille d'Antibes ont été faites, en 1875, 1876 et 1877, par M. Potier, ingénieur des Mines.

FEUILLE DE GIVET AU $\frac{1}{40000}$.

Le fragment de la feuille de Givet au $\frac{1}{40\,000}$ qui est exposé comprend la partie de cette feuille depuis la frontière de Belgique au Nord jusqu'à Fumay au Sud. On y rencontre

les terrains suivants, qui sont présentés dans l'ordre descendant, savoir :

A. Limon récent et cailloux roulés de la vallée.

p Limon et cailloux des terrasses et des plateaux. — Le limon est employé pour faire des briques. Il renferme souvent, à la base, des débris irréguliers de roches anciennes (*argile à blocaux* de M. Dupont).

c' Cailloux roulés de quartz blanc, blocs de grès siliceux perforés (terrain crétacé inférieur? remanié à l'époque diluvienne).

c Sable remplissant une poche dans le calcaire dévonien (crétacé inférieur).

d^6 Psammites et schistes d'Eppe-Sauvage. — Sur la feuille de Givet, on n'a encore reconnu que la zone inférieure de cette assise, c'est-à-dire les *schistes de Famenne* de d'Omalius d'Halloy. On peut y distinguer deux niveaux :

L'inférieur, caractérisé par *Rhynchonella Omaliusi*, constitue la colline du fort des Vignes; il renferme des nodules calcaires où abondent les Orthocères et les Goniatites;

Le supérieur, caractérisé par *Rhynchonella Dumonti*, se trouve sur les bords du Schloup.

d^5 Calcaire de Ferques. — Se divise en deux zones :

$d^5{}_b$ Schistes à *Cardium palmatum*. — Schistes noirs très fissiles, caractérisés par *Cardiola retrostriata* (*Cardium palmatum*), *Goniatites retrorsus*, *Bactrites*. Ils contiennent des masses nodulaires de marbre rouge ($d^5{}_{br}$);

$d^5{}_a$ Schistes à *Rhynchonella cuboïdes*. — Schistes gris verdâtre avec bancs intercalés de calcaire bleu ($d^5{}_{ac}$) qui, sur le terrain, constituent une légère ligne saillante. Comme l'assise précédente, ces schistes contiennent des masses nodulaires de marbre rouge ($d^5{}_{ar}$), disposées également sous forme de pitons isolés. Telles sont celles du Fort-Condé et celle qui est exploitée à Frommelennes. — Principaux fossiles : *Rhynchonella cuboïdes*, *Rhynchonella semilævis*, *Pentamerus brevirostris*, *Camarophoria megistana*, *Camarophoria formosa*, *Spirifer Verneuilli*,

Spirifer euryglossus, *Spirifer nudus*, *Spirifer Urii*, *Spirigera concentrica*, *Atrypa reticularis*. Vers la base, il y un banc de schistes rempli de *Receptaculites Neptuni*, et, en contact avec l'assise suivante, des calcaires schisteux avec *Spirifer Orbelianus*, *Atrypa reticularis* très volumineuse, *Orthis striatula*, *Favosites Boloniensis*, *Alveolites subæqualis*, *Cyathophyllum cæspitosum*. Au Bois-le-Duc, à Foische, il y a un rocher de calcaire dolomitique avec filon de fluorine et de galène.

d^4 Calcaire de Givet, à *Strigocephalus Burtini*. — Calcaire noir ou bleuâtre caractérisé par *Strigocephalus Burtini*, *Spirifer mediotextus*, *Cyathophyllum quadrigeminum;* exploité comme pierre de taille aux Trois-Fontaines, comme marbre à Aubrive, vis-à-vis Vancelles, et à Rancennes, comme pierre à chaux aux Trois-Fontaines, à Givet-Notre-Dame et à Frommelennes.

d^3 Schistes de Rancennes. — Schistes gris avec bancs calcaires (d^3_c) intercalés. Nombreux fossiles : *Calceola sandalina*, *Rhynchonella angulosa*, *Pentamerus galeatus*, *Orthis eifeliensis*, *Spirifer speciosus*, *Cystiphyllum lamellosum*.

d^2 Grès et shistes de Vireux. — Se divisent en quatre zones :

d^2_d *Schistes grossiers de Hierges*. — On peut y distinguer deux niveaux :

1° Le supérieur, caractérisé par *Spirifer cultrijugatus* et *Rhynchonella Orbignyana*, contient encore des bancs calcaires;

2° L'inférieur, caractérisé par *Spirifer Arduennensis*, *Rhynchonella pila*, *Rhynch. daleidensis*, *Chonetes plebeia*, *Pleurodyctium problematicum*, *Leptæna Murchisoni*, *Grammysia Hamiltonensis*, présente à sa base quelques bancs de grès noir verdâtre exploité pour pavés près de Vireux et sur le bois de Chenet.

d^2_c *Schistes rouges de Chooz*. — Schistes et grès rouges sans fossiles. On y reconnaît, sur certains bancs, des empreintes de *Ripplemarks* et de gouttes de pluie.

d^2_b *Grès noir de Vireux*. — Grès très quartzeux, noir ou vert foncé. Fournit d'excellents pavés. Fossiles rares. *Pleurodyctium problematicum*, *Leptæna Murchisoni*, *Chonetes plebeia*.

d^2_a *Schistes grossiers de Montigny.* — Les fossiles y sont très abondants : *Spirifer paradoxus*, *Rhynchonella daleidensis*, *Leptæna Murchisoni*, *Chonetes plebeia*, *Pleurodyctium problematicum*, *Grammysia Hamiltonensis.*

d^1 Grès d'Anor. — Grès gris de fumée, sans fossiles (sur la feuille de Givet) ; exploité dans le village de Montigny.

d_1 Schistes de Mondrepuis. — Se divisent en quatre zones :

d_{1d} *Schistes bigarrés.* — Rouges ou verts; les couleurs forment des zones en zigzag différentes de la schistosité. On y trouve intercalés des bancs de quartzite; l'un d'eux (moulin de Fétrogne) contient de petits cristaux de feldspath altéré.

d_{1b} *Schistes fossilifères.* — Schistes d'un vert sombre, caractérisés par *Primitia Jonesii*, *Beyrichia Richteri*, *Tentaculites grandis*, *Orthis Verneuilli.*

d_{1c} *Arkose.* — Grès à très gros grains remplis de matières feldspathiques kaolinisées alternant avec des bancs de schistes verdâtres exploités comme moellons.

d_{1d} *Poudingue de Fépin.* — Poudingue à galets très volumineux et à ciment schisteux. Dépôt local et irrégulier.

s Schistes et quartzites de Revin. — Silurien inférieur (cambrien).

s' *Schistes violets et verts à Dyctionema*, exploités comme ardoises à Fumay et à Haybes. Contiennent des bancs de quartzite blanc.

s'' *Schistes et quartzites noirs.* — Schistes noirs avec nombreux bancs de quartzites souvent pyritifères. Vers la base, il y a un banc d'ardoises noires exploité à Fumay (route de Rocroi) et à Haybes.

L'étude géologique détaillée de la feuille de Givet a été exécutée par M. Gosselet, professeur de géologie à la faculté des sciences de Lille.

MASSIF DU CANTAL AU $\frac{1}{40000}$.

La partie volcanique centrale du Cantal repose soit directement sur le gneiss et le micaschiste, soit sur des assises plus ou moins épaisses de terrain tertiaire stratifié.

Les dépôts sédimentaires tertiaires sont représentés par des conglomérats et des argiles éocènes, surmontés de marnes et de calcaires miocènes fossilifères.

Deux bassins tertiaires principaux sont visibles dans la partie Sud du massif du Cantal : ce sont ceux d'Aurillac et de Mur-de-Barrez. D'autres bassins moins importants existent à Laveissière, à Dienne et près de Saint-Flour.

Le terrain pliocène n'est représenté parmi les dépôts purement sédimentaires que par quelques brèches d'étendue insignifiante, mais où l'on a trouvé des ossements de grands mammifères, ce qui a permis de déterminer l'âge des dépôts en question.

Les produits éruptifs sont bien plus importants. Ils se rattachent à trois catégories de roches : 1° aux basaltes (roches volcaniques basiques); 2° aux trachytes plagioclasiques (roches volcaniques acides ou intermédiaires, à feldspaths tricliniques); 3° aux phonolithes (roches à feldspath monoclinique, pyroxène et néphéline). Dans le Cantal central, il n'y a point de trachyte proprement dit, c'est-à-dire de roche volcanique avec prédominance du fedspath monoclinique.

Les trachytes plagioclasiques sont tous à base de labrador; c'est pourquoi on peut les désigner sous le nom de *labradorites*.

Les plus anciens affectent souvent la structure domitique; ils renferment de la sanidine en assez forte proportion, sont presque toujours riches en sphène et surtout en biotite; ils fournissent quelques obsidiennes et passent au trachyte proprement dit. On les observe particulièrement au fond du cul-de-sac des vallées de la Cère, de la Jordane et de l'Allagnon, c'est-à-dire près du cœur du volcan.

Les labradorites d'âge moyen constituent les brèches épaisses, visibles dans toutes les vallées qui divergent du plomb du Cantal. Le labrador s'y montre à peu près seul à l'état de feldspath en grands cristaux. Les minéraux qui y sont associés sont l'hornblende, le pyroxène, l'apatite, la néphéline, le fer oxydulé. Comme dans les labradorites inférieurs, le feldspath qui domine à l'état de michrolithes est l'oligoclase. Dans un grand nombre de ces roches, le pyroxène est très prédominant par rapport à l'amphibole.

Les labradorites les plus récents constituent les sommités de la plupart des puys les plus élevés du Cantal : Chavaroche, Puy-Mary, Pierre-Arse, Cantalon, etc. Chacune de ces roches est représentée par des bancs compacts, des coulées bréchiformes et aussi par des produits de projections.

Les basaltes appartiennent également à trois formations distinctes. Le basalte inférieur s'est épanché immédiatement sur le calcaire miocène. Il est à grains fins, riche en pyroxène, en olivine, contient des microlithes de labrador, de pyroxène et de fer oxydulé. Il possède aussi du labrador et de l'anorthite à l'état de grands cristaux ; dans certaines localités, les fedspaths y disparaissant, il passe à des péridotites. On l'observe principalement près d'Aurillac et dans le haut de la vallée de l'Allagnon.

Le basalte moyen est une roche à grands cristaux visibles à l'œil nu ; toujours il est riche en feldspaths. On l'observe aux environs de Thiézac et de Lascelle, entre la vallée de la Cère et celle de la Jordane. Il apparaît au milieu des phonolithes au pied du puy Grioux.

Le basalte supérieur recouvre les hauts plateaux du pays. Il est identique comme roche au basalte inférieur.

Le phonolithe est riche en feldspath monoclinique ; il contient des microlithes de pyroxène, et presque toujours, en grands cristaux, de l'hornblende, du pyroxène, du sphène, de la biotite, de l'haüyne ; elle est plus ou moins abondamment pourvue de néphéline et passe à des roches où ce minéral fait complètement défaut. Il constitue les puys de Grioux, Griounaux, l'Usclade, Roche-Taillade, et fournit en outre plusieurs filons.

Au milieu de la série de ces dépôts divers apparaît une assise de cendres remarquable par les débris végétaux et les empreintes de plantes qu'on y observe. Ces plantes appartiennent à la flore miocène inférieure. Le dépôt qui les renferme sépare nettement les assises basaltiques et labradoriques moyennes des assises supérieures formées par les mêmes roches. Les principaux dépôts existent à Vic-sur-Cère, à la Peyre-del-Cros, à Saint-Vincent, à Cheylade et en deux points différents de la vallée de Fontanges.

Le panneau exposé comprenant le massif du Cantal a été obtenu par agrandissement photographique au $\frac{1}{40\,000}$ des quatre feuilles de la carte du Dépôt de la guerre : Mauriac, Brioude, Aurillac et Saint-Flour. Les explorations pour les relevés géologiques ont été faites, en 1876 et 1877, par M. Fouqué, professeur de géologie au Collège de France.

ÉTUDE GÉOLOGIQUE DU MASSIF DU MONT-DORE.

Cette étude a été entreprise sur la demande et pour le compte du conseil général du département du Puy-de-Dôme. Le Service de la Carte géologique détaillée de la

France s'est chargé de la publier, avec une subvention du département.

Le travail exposé comprend : 1° une carte géologique; 2° une feuille de coupes et de profils. Toutes les deux sont à l'échelle de $\frac{1}{40000}$ et sont coloriées à l'aide des mêmes teintes conventionnelles.

La carte embrasse la partie centrale du massif du Mont-Dore, c'est-à-dire toute la région élevée de ce massif, et le haut des vallées qui en descendent. La topographie est la reproduction des minutes de la carte de l'État-Major; on y a seulement ajouté plusieurs routes exécutées après que celle-ci eut été levée. Le relief du sol est représenté par des courbes de niveau espacées de 10 mètres suivant la verticale, ou, quand la pente est trop grande, de 20 mètres; tous les 40 mètres, la courbe est figurée par un trait plus fort.

La feuille de coupes et de profils comprend quatre projections : deux sur un plan N. S., deux sur un plan E. O. Pour tracer chacune d'elles, on a considéré un cylindre vertical dont les génératrices suivent le thalweg de deux vallées de sens opposé, dirigées à peu près N. S. ou E. O., et traversent le col ou l'arête qui les sépare; on a projeté la section ainsi obtenue sur un plan vertical N. S. ou E. O., puis on a rapporté sur le même plan les lignes de contour apparent de la contrée qui se trouvent d'un même côté du cylindre. Sur ces projections, on a figuré les affleurements des nappes de roches dures qui sont vues; les tufs, qui forment la plus grande partie de la masse, n'ont été teintés que dans les parties coupées. L'échelle des hauteurs est la même que celle des longueurs.

Les tufs et conglomérats trachytiques forment, on vient de le dire, de beaucoup la plus grande partie de la masse des terrains volcaniques du Mont-Dore. Au milieu d'eux sont intercalées des nappes solides, présentant une série de roches dont l'ordre de superposition est toujours le même partout où l'on peut le constater. Ce sont, en allant de bas en haut :

1° Une roche intermédiaire entre le basalte et le trachyte ou même le phonolithe, et passant à l'un et à l'autre, à laquelle on a conservé le nom de *greystone* que lui donne Poulett Scrope (densité : 2,58 à 2,70);

2° Un basalte franc (densité : 2,87 à 3,08), passant quelquefois à des porphyres pyroxéniques ou à des waekes basaltiques;

3° Un trachyte gris, un peu ponceux, avec quelques grands cristaux de sanidine (densité : 2,71 à 2,82), devenant souvent très bulleux;

4° Un trachyte porphyroïde, à pâte le plus souvent verdâtre ou violette, quelquefois blanche, et à cristaux de sanidine très abondants (densité : 2,42 à 2,60);

5° Du phonolithe (densité : 2,47 à 2,56), nettement postérieur, au moins au trachyte gris.

Les tufs sont souvent traversés par des dykes formés de ces diverses roches. A ces dykes se rattachent les gîtes d'alunite des ravins de la Craie et du Roc-Barbu.

Une même nappe présente souvent des roches assez différentes aux divers points de son parcours; le basalte passe à la dolérite, le trachyte gris au basalte d'un côté, au trachyte porphyroïde de l'autre, etc.

Si l'on sort de la partie centrale du massif, on trouve

d'autres coulées basaltiques plus modernes que les trachytes; quelques-unes d'entre elles proviennent de cônes de scories et paraissent à peu près aussi récentes que les laves des volcans de la chaîne des Puys.

Il est donc impossible de continuer à distinguer dans les roches volcaniques du centre de la France trois séries d'éruptions bien distinctes, caractérisées respectivement par les trachytes, les basaltes et les laves modernes; et il faut admettre que les basaltes, les trachytes, les phonolithes et des roches formant une série continue qui rattache l'un à l'autre les deux types extrêmes, se sont produits alternativement depuis les éruptions les plus anciennes de la contrée jusqu'aux plus récentes.

Il ne semble pas, d'un autre côté, qu'on trouve au Mont-Dore de vestiges d'un cratère unique et central d'où seraient sorties toutes les roches qui constituent le massif volcanique. Il paraît plus probable qu'elles se sont fait jour par un certain nombre de fissures et d'orifices disséminés, souvent méconnaissables aujourd'hui.

Le massif volcanique du Mont-Dore repose sur le granit; celui-ci est à gros grains dans la région occidentale, à grains plus fins au Nord et à l'Est; on ne le voit pas au Sud; de ce côté, des plateaux basaltiques s'étendent jusqu'au pied du Cantal. Dans la vallée de la Dordogne, le granit est séparé du tuf, à La Bourboule, par une grande faille E. 28° N., qui paraît se prolonger, en tournant un peu, sur le flanc du Puy-Gros. Deux autres failles de sens inverse accompagnent la première. A l'Est de ces failles, dans la vallée de la Dordogne, le granit s'élève à la cote 700, tandis qu'il s'élève jusqu'à la cote 1 100 dans les

vallées situées au Nord et à l'Est. Ces différences de niveau sont dues sans doute à d'autres grands accidents, postérieurs également à la venue au jour des roches volcaniques du Mont-Dore et qui ont pu contribuer pour une assez large part au relief actuel du massif.

L'étude du massif du Mont-Dore est due à M. Amiot, ingénieur ordinaire des Mines, en résidence à Clermont-Ferrand, attaché au Service de la Carte géologique détaillée de la France et à celui des topographies souterraines.

BASSIN TERTIAIRE DU SUD-OUEST.

Le panneau exposé comprend les feuilles n° 180 Bordeaux, n° 191 La Teste-de-Buch, n° 203 Sore, n° 15 Mont-de-Marsan. Ce n'est qu'un fragment du bassin tertiaire du S. O. ou sous-pyrénéen, tel qu'il a figuré à l'Exposition universelle de Paris en 1878.

On y a joint une coupe du bassin dirigée d'Auch sur Mont-de-Marsan et prolongée jusqu'à la mer à travers les landes de Gascogne et les dunes du littoral.

Les traits les plus saillants de la constitution géologique de la plaine du S. O. ne sont qu'imparfaitement représentés sur le panneau ; mais la coupe est propre à en donner une idée assez nette. Ils peuvent être résumés de la manière suivante :

1° Les assises crétacées et nummulitiques forment, dans cette région, une série d'ondulations manifestement parallèles à l'axe de la chaîne des Pyrénées, en présentant, d'une manière uniforme, un versant peu incliné en regard de cette

dernière, et un revers abrupt, au contraire, dans la direction opposée.

Trois de ces grandes rides sont représentées sur les feuilles exposées. Ce sont, en partant du Sud :

a. Le pointement crétacé qui s'étend au S. E. de Saint-Sever, entre Hauriet et Fargues, et qui se rattache, dans cette direction, par les gisements de Gensac et de Monléon, aux massifs d'Aurignac et d'Ausseing, vulgairement connus sous le nom de *Petites-Pyrénées ;*

b. La protubérance qui va de Roquefort (Landes) à la métairie de Bordères, commune de Lavardens (Gers), en passant par La Pouchette, Le Gentilhomme, La Hiouère, Bierenx et Créon;

c. Enfin le pointement de Villagrains, qui occupe la partie haute du vallon de Cabanac et dont le second jalon se trouve à Landiras, sur la feuille de La Réole.

2° Le terrain tertiaire miocène s'est déposé dans les compartiments formés par cette suite d'ondulations. Il s'y présente avec un grand développement et des caractères divers, suivant la région que l'on envisage. Ainsi les assises lacustres dominent de beaucoup dans le Nord et vers l'Est, tandis que les couches marines sont au contraire prépondérantes du côté de l'Ouest.

3° Ces dernières s'interposent en général sous forme de coins au milieu des premières. Elles affectent en plan la forme d'un triangle dont un des côtés s'appuie sur le littoral et dont le sommet est situé dans l'intérieur des terres, à une distance d'autant plus considérable qu'elles sont plus récentes.

4° Il n'y a d'exception à cette disposition que pour les

couches marines à *Ostrea crassissima* et *Cardita Jouanneti*, dont le dépôt est manifestement postérieur à celui du grand massif lacustre qui recouvre l'Agenais et le haut Armagnac. La mer, dans laquelle ces couches se sont formées, a profondément entamé et raviné les assises d'eau douce qui constituent des falaises très accusées dans le relief du sol pour tout observateur se dirigeant de l'Ouest vers l'Est. La dénudation a toutefois respecté quelques îlots de terrain lacustre qui pointent au milieu des sables marins, comme le montre la coupe.

Après le soulèvement des Pyrénées, qui a suivi la formation du terrain éocène, le démantèlement partiel des assises lacustres par la mer à *Ostrea crassissima* est le fait le plus considérable observé dans la structure du bassin tertiaire du S. O. Il correspond à une division bien tranchée dans les couches tertiaires moyennes et sépare celles auxquelles on a appliqué la qualification d'oligocènes des dépôts miocènes proprement dits.

5° Le sable quartzeux des Landes est l'assise tertiaire la plus élevée de la région du S. O. Il affecte, à l'égard des terrains miocènes, une véritable indépendance, car on le trouve indifféremment superposé aux diverses assises renfermées dans ce terrain. On l'a rapporté pour cette raison à l'étage pliocène. On peut d'ailleurs remarquer sur la coupe que le sable des Landes reproduit la disposition déjà constatée dans le gisement des couches à *Ostrea crassissima* par rapport aux dépôts lacustres.

La légende spéciale consacrée à la région du S. O. fait connaître avec détail les divisions introduites dans les terrains qui constituent le sol de cette région et leur assimi-

lation aux assises qui entrent dans la composition du bassin de Paris.

Les relevés géologiques sur les feuilles exposées ont été exécutés par MM. Jacquot, inspecteur général des Mines, directeur du Service de la carte; Linder, ingénieur en chef des Mines, à Alais. On a utilisé, pour ces relevés, la carte géologique et agronomique du Gers et celle des Landes, par MM. Jacquot et Raulin.

La coupe a été dressée par le directeur du Service de la Carte géologique.

XLIX

MINÉRALOGIE MICROGRAPHIQUE.

Le mémoire intitulé *Minéralogie micrographique* a pour objet l'application du microscope à l'étude des éléments constitutifs des roches cristallines. Il comprend un texte descriptif formant un volume in-4° de 509 pages et un atlas de 55 planches. Cinquante-trois types principaux de roches françaises y sont figurés et décrits, indépendamment de ceux que l'on a dû emprunter aux pays étrangers. Cet ouvrage est une introduction naturelle à la description géologique des contrées où les roches cristallines sont développées. C'est à ce titre qu'on a cru devoir lui donner une place dans le texte explicatif de la Carte géologique détaillée de la France.

La *Minéralogie micrographique* a pour auteurs MM. Fouqué, professeur de géologie au Collège de France, et Michel Lévy ingénieur au Corps des Mines.

LE PAYS DE BRAY.

Sous le titre *Le pays de Bray* se trouve décrite géologiquement la petite région naturelle de Beauvais jusqu'un peu au delà de Neufchâtel et qui joue un rôle prépondérant dans la structure du sol des plaines du Nord de la France. Le Mémoire forme un volume in-4° de 178 pages auquel on a joint une carte géologique de la région au $\frac{1}{320000}$ et plusieurs planches.

Sous le rapport de la forme, la description géologique du pays de Bray peut être considérée comme un spécimen du type auquel on s'est définitivement arrêté pour la publication du texte explicatif de la Carte géologique détaillée de la France.

Cette monographie régionale est due à M. DE LAPPARENT, ingénieur au Corps des Mines.

COMMISSION DU GRISOU.

(Voir la collection de brochures parmi les documents exposés par l'École des Mines.)

Une loi du Parlement français, en date du 26 mars 1877, a institué une Commission dans le but d'étudier les moyens propres à prévenir les explosions de grisou qui font chaque année tant de victimes dans les mines de houille.

Depuis plus de deux ans, cette commission, formée d'ingénieurs et de savants, travaille activement à remplir sa mission.

Elle a d'abord réuni et discuté, en s'aidant de l'avis des hommes les plus compétents, tous les documents que l'on possédait déjà sur ce sujet, et elle a aussi examiné attentivement diverses inventions et procédés récemment proposés.

Puis, elle a cherché à apporter de la lumière à la pratique non moins qu'à la théorie, en exécutant des séries d'expériences relatives aux lampes de sûreté, aux poussières explosives, à la ventilation et aux appareils de mesures anémométriques, aux appareils de sauvetage et aux appareils physiologiques qui s'y rapportent.

D'autre part, elle a examiné dans tous ses détails la réglementation admise jusqu'à présent en France, en Belgique, en Angleterre et en Allemagne, pour les mines à grisou; et, à la suite d'une discussion approfondie, elle a réuni, dans un travail d'ensemble, les principes à consulter dans l'exploitation des mines à grisou. Dans peu de mois, elle sera en mesure — elle l'espère — de présenter ses conclusions.

TROISIÈME PARTIE.

BÂTIMENTS CIVILS ET PALAIS NATIONAUX.

L

BÂTIMENTS CIVILS ET PALAIS NATIONAUX.

Le Service des bâtiments civils et palais nationaux comprend tous les monuments publics, édifices et palais autres que les monuments historiques, les édifices diocésains, les établissements pénitentiaires, les bâtiments militaires et les bâtiments départementaux et communaux.

Ce service forme, au Ministère des travaux publics, une direction comprenant deux divisions :

La division des bâtiments civils;

La division des palais nationaux.

Les attributions de ces deux divisions sont à peu près les mêmes, en ce qui concerne les bâtiments dont elles sont spécialement chargées et dont leur titre indique la nature. Ces attributions peuvent être résumées ainsi qu'il suit :

Étude et rédaction des projets nouveaux. Examen des devis, des séries de prix, des cahiers de charges. Adjudications et rédaction des marchés. Commande des ouvrages d'art relatifs à la décoration des monuments. Préparation des budgets, projets de lois et de décrets. Expropriation pour cause d'utilité publique, acquisitions et aliénations. Autorisation des dépenses relatives aux travaux neufs, aux travaux d'entretien, de réfections et de grosses réparations. Exécution et surveillance des travaux. Contrôle et revision

L

BÂTIMENTS CIVILS ET PALAIS NATIONAUX.

Le Service des bâtiments civils et palais nationaux comprend tous les monuments publics, édifices et palais autres que les monuments historiques, les édifices diocésains, les établissements pénitentiaires, les bâtiments militaires et les bâtiments départementaux et communaux.

Ce service forme, au Ministère des travaux publics, une direction comprenant deux divisions :

La division des bâtiments civils;

La division des palais nationaux.

Les attributions de ces deux divisions sont à peu près les mêmes, en ce qui concerne les bâtiments dont elles sont spécialement chargées et dont leur titre indique la nature. Ces attributions peuvent être résumées ainsi qu'il suit :

Étude et rédaction des projets nouveaux. Examen des devis, des séries de prix, des cahiers de charges. Adjudications et rédaction des marchés. Commande des ouvrages d'art relatifs à la décoration des monuments. Préparation des budgets, projets de lois et de décrets. Expropriation pour cause d'utilité publique, acquisitions et aliénations. Autorisation des dépenses relatives aux travaux neufs, aux travaux d'entretien, de réfections et de grosses réparations. Exécution et surveillance des travaux. Contrôle et revision

des mémoires et pièces de dépenses relatives à tous les les travaux. Examen des réclamations des entrepreneurs. Pourvois devant le conseil de préfecture et devant le contentieux du Conseil d'État. Régularisation des pièces comptables et liquidation des dépenses. Tenue des écritures sur la situation des crédits. Situation des marchés.

La division des palais nationaux s'occupe, en outre, spécialement : de l'administration du mobilier national et des régies des palais; de l'ameublement des palais; de l'installation pour fêtes et cérémonies officielles; des inventaires et mouvements de meubles; des dépenses relatives à l'ameublement; de la garde et de la surveillance des palais, parcs et jardins; des dépenses des régies; du contrôle et de la revision des mémoires et pièces de dépenses.

Le Ministre consulte, sur les questions générales relatives aux bâtiments civils et aux palais nationaux, la Commission supérieure des bâtiments civils et des palais nationaux, et sur les questions techniques, le Conseil général des bâtiments civils et palais nationaux.

COMMISSION SUPÉRIEURE DES BÂTIMENTS CIVILS ET PALAIS NATIONAUX.

La Commission supérieure des bâtiments civils et palais nationaux, instituée par décret du 28 mai 1878, est saisie de toutes les grandes questions qui intéressent les bâtiments et les palais. Elle s'occupe de l'opportunité de créer les monuments; de l'affectation à leur donner; du choix des emplacements; des reconstructions, agrandissements, isolements, etc. Lorsqu'elle a statué sur ces questions générales, les projets sont soumis au Conseil des bâtiments civils et palais nationaux.

CONSEIL GÉNÉRAL DES BÂTIMENTS CIVILS.

Ce conseil examine, au point de vue technique : les plans et devis des travaux qui doivent être exécutés par le Service des bâtiments civils et palais nationaux; tous les projets que les différents départements ministériels transmettent au Ministre des travaux publics, en demandant l'avis du Conseil; les affaires contentieuses relatives aux travaux de bâtiment.

Il se compose, outre le Ministre ou le Sous-Secrétaire d'État des travaux publics, président, et le directeur des bâtiments civils, membre de droit, de :

Quatre inspecteurs généraux, membres permanents du Conseil;

Quatre architectes, membres temporaires, nommés pour deux années;

Deux auditeurs, architectes, anciens grands prix de Rome;

Un secrétaire, chargé de la tenue des procès-verbaux et de la rédaction des avis du Conseil;

Un contrôleur, chargé du contrôle des devis joints aux projets soumis au Conseil.

En outre de leur participation aux travaux du Conseil, les inspecteurs généraux sont chargés de l'inspection des travaux d'entretien, des travaux neufs et des travaux de réfections et grosses réparations des bâtiments civils et des palais nationaux. Aucun travail n'est entrepris sans leur avis.

ARCHITECTES.

Les travaux sont exécutés sous la direction des architectes nommés par le Ministre et choisis, en général, parmi d'anciens élèves distingués de l'École des beaux-arts et,

principalement, parmi les anciens pensionnaires de l'Académie de France à Rome et les élèves diplômés.

Ils reçoivent des honoraires proportionnels sur le montant des mémoires des travaux vérifiés et contrôlés. Ces honoraires sont fixés ainsi qu'il suit :

4 p. o/o sur les travaux d'entretien.

3 p. o/o sur les travaux neufs ou de grosses réparations.

PERSONNEL DES AGENCES.

Les architectes ont sous leurs ordres des agences dont le personnel est nommé également par le Ministre et qui se compose ordinairement de :

Un inspecteur,

Un sous-inspecteur,

Un conducteur,

Un vérificateur.

Ce personnel peut être augmenté ou diminué, selon l'importance des travaux. Les inspecteurs, sous-inspecteurs et conducteurs reçoivent des traitements fixes et annuels qui varient de 1 800 à 3 000 francs. Ce n'est qu'exceptionnellement, et pour des travaux très importants et de courte durée, que ce maximum de 3 000 francs est dépassé.

Quant au vérificateur, ses honoraires, fixés à 1 p. o/o, sont proportionnels au montant des mémoires vérifiés et contrôlés.

Les inspecteurs secondent l'architecte dans l'étude des détails d'exécution des plans et dans la surveillance générale des travaux; les sous-inspecteurs sont plus spécialement chargés de la tenue des attachements et des écritures de comptabilité. Quant au conducteur, il veille, par sa présence

continuelle sur le chantier, à la réception et à la mise en œuvre des matériaux, ainsi qu'à la bonne exécution des travaux.

Les vérificateurs exercent leur contrôle pendant la durée des opérations, mais principalement lorsque les entrepreneurs ont remis leurs mémoires. Ils vérifient ces mémoires sur place, constatent si les quantités, mesures, façons sont bien telles qu'elles y sont portées, et ils s'assurent également que les prix sont bien ceux de la série qui a servi de base à chaque adjudication ou à chaque soumission.

C'est par une commission de vérificateurs que l'Administration fait établir une série, aussi complète que possible, des prix de toutes les natures d'ouvrages qu'entraîne l'exécution des travaux de bâtiments, et les prix en sont appliqués au règlement des mémoires, après déduction des rabais consentis.

Les travaux qui concernent les bâtiments civils et palais nationaux sont divisés en trois catégories : travaux d'entretien; travaux de réfections et de grosses réparations, et travaux neufs.

TRAVAUX D'ENTRETIEN.

La plupart des édifices entretenus par les soins du Service des bâtiments civils sont situés à Paris ou dans les environs, l'entretien des dépôts d'étalons restant à la charge du Ministère de l'agriculture et du commerce.

Ces édifices sont répartis en quatre grandes divisions d'inspection : chaque division contient quatre circonscriptions.

Chaque année, au commencement de l'exercice, les propositions présentées par les architectes, pour l'exécution

des travaux d'entretien dans les monuments qui leur sont confiés, sont transmises à l'Administration et contrôlées par les inspecteurs généraux. A la suite de ce contrôle, le crédit affecté à l'entretien, pour l'exercice, est réparti, par décision ministérielle, entre les divers établissements.

Les travaux sont exécutés conformément à cette décision pendant le cours de l'année, sous la direction des architectes.

TRAVAUX DE RÉFECTIONS ET DE GROSSES RÉPARATIONS. GRANDS TRAVAUX.

La manière de procéder, pour l'exécution de ces deux catégories de travaux, est presque entièrement la même : il n'y a aucune différence dans la marche des opérations, la comptabilité, la vérification des mémoires et leur liquidation. Seulement, pour les travaux neufs, on demande à l'administration qui a dans ses attributions les services qui doivent occuper l'édifice après son achèvement le programme des besoins auxquels il s'agit de donner satisfaction.

Ce programme, étudié en détail et approuvé par le Ministre compétent, est transmis au Ministre des travaux publics, qui charge alors un architecte de son choix de le prendre pour base d'un projet avec plans et devis.

Le projet terminé doit être transmis au Ministre qui a donné le programme, afin qu'il examine si toutes les conditions qui y sont contenues ont été remplies et l'approuve, s'il y a lieu.

Pour les réfections et grosses réparations, c'est l'architecte chargé de l'entretien de l'édifice qui fournit le projet.

Ce projet, comme ceux des travaux neufs, est soumis au

Conseil général des bâtiments civils et palais nationaux, qui les examine au point de vue architectural de la construction et des dépenses prévues dans le devis. Le projet une fois accepté par le Conseil, l'Administration prépare, s'il y a lieu, un projet de loi pour obtenir des Chambres, non seulement l'approbation du travail projeté, mais aussi les crédits nécessaires pour son exécution.

Une loi est toujours nécessaire quand il y a lieu d'exécuter des travaux neufs; elle ne l'est qu'exceptionnellement quand il s'agit de travaux de réfections et de grosses réparations dotés de crédits au budget ordinaire du Ministère des travaux publics.

Dès que l'Administration est assurée des crédits dont elle a besoin, les travaux entrent alors dans la période d'exécution. Ils sont mis en adjudication après approbation par le Ministre des pièces suivantes :

Cahier des charges générales,

Cahier des charges et conditions particulières,

Série des prix,

Plans, coupes et élévation,

Devis.

Au moment de commencer les opérations, l'agence est constituée par décision ministérielle, ainsi que nous l'avons indiqué à l'article Personnel des agences.

Au fur et à mesure de l'exécution des travaux, les entrepreneurs produisent les mémoires des travaux exécutés avec les attachements figurés qui s'y rapportent.

Ces mémoires sont établis en trois expéditions, dont une sur timbre, qui ne contient que le résumé des travaux et qui doit être envoyée plus tard à la Cour des comptes.

Les mémoires sont vérifiés par le vérificateur, puis transmis à la direction des bâtiments civils et des palais nationaux, où des contrôleurs spéciaux examinent le travail du vérificateur, le modifient, s'il y a lieu, et enfin arrêtent les mémoires, qui sont ensuite liquidés et dont le montant est ordonnancé au profit de chaque ayant droit.

Si des réclamations se produisent sur le règlement des mémoires, elles sont examinées par le conseil des bâtiments civils; si l'entrepreneur réclamant n'accepte pas cet avis, il peut engager une instance devant le conseil de préfecture, et, en dernier ressort, devant le Conseil d'État.

Pour compléter cet exposé sommaire des attributions du Service des bâtiments civils et des palais nationaux, on croit devoir donner ici la liste de tous les bâtiments et édifices dont l'entretien ou les grands travaux lui sont confiés.

ÉDIFICES ET PALAIS

COMPRIS

DANS LE SERVICE DE LA DIRECTION DES BÂTIMENTS CIVILS ET DES PALAIS NATIONAUX.

BÂTIMENTS CIVILS.

	MM.
Observatoire	Bouchot.
Ministère de l'instruction publique et des beaux-arts	*Idem.*
Monument du maréchal Ney	*Idem.*
École normale supérieure	*Idem.*
Théâtre de l'Odéon	*Idem.*
Institution des sourds-muets	Monge.

	MM.
École nationale des Mines	Valler.
Collège de France	Lepreux.
Église Sainte-Geneviève	Le Deschault.
École de dessin	*Idem.*
Bibliothèque Sainte-Geneviève	Jourdain.
Cour de cassation	Coquart.
École des beaux-arts	*Idem.*
Palais de l'Institut	Moyaux.
Observatoire de Meudon	*Idem.*
Monument de Henri IV	*Idem.*
Palais d'Orsay	*Idem.*
École de pharmacie	Laisné.
École polytechnique	Henry.
École des Ponts et Chaussées	Faure-Dujarric.
École des langues orientales vivantes	*Idem.*
Ministère des travaux publics	Trouillet.
Ministère de l'agriculture et du commerce	Brune.
Ministère de l'intérieur	Pigny.
Ministère de la marine	*Idem.*
Ministère de la justice	Destailleurs.
Ministère des affaires étrangères	Mauss.
Ministère des postes et des télégraphes	Rigault.
Institution des jeunes aveugles	Abadie.
Théâtre de l'Opéra-Comique	Crépinet.
Magasin des décors de l'Opéra-Comique	*Idem.*
Église des Invalides	*Idem.*
Dépôt des marbres	Debressenne.
Hôtel des postes	Guadet.
Arc de triomphe de l'Étoile	Normand.
Obélisque	*Idem.*
Colonne Vendôme	*Idem.*
Palais de l'Industrie	Dutrou.
Théâtre de l'Opéra	Garnier.
Magasins des décors de l'Opéra, rue Richer	*Idem.*

	MM.
Conservatoire de musique	Garnier.
Chapelle Louis XVI	Chabrol.
Conservatoire des arts et métiers	Ancelet.
Porte Saint-Martin	*Idem.*
Porte Saint-Denis	*Idem.*
Colonne de Juillet	*Idem.*
Bibliothèque nationale	Pascal.
Monument de Louis XIV	*Idem.*
Archives nationales	Leclerc.
Muséum d'histoire naturelle	André.
Bibliothèque de l'Arsenal	Th. Labrouste.
Monument de Louis XIII	*Idem.*
Maison de Charenton	Diet.
École vétérinaire d'Alfort	*Idem.*
Palais du Trocadéro	Davioud et Bourdais.
Château de Saint-Germain	Lafollye.
Manufacture de Sèvres	Desbuisson.
École vétérinaire de Lyon	Sainte-Marie Perrin.
École vétérinaire de Toulouse	Laffon.
École des mineurs de Saint-Étienne	Boulot.
Institution des sourdes-muettes de Bordeaux	Labbé.
Institution des sourds-muets de Chambéry	Revel.
Hospice du mont Genèvre	Chaudier.
Colonne de Boulogne	Bouloch.
Dépôt d'étalons du Pin	Arnoul.
Dépôt de Saint-Lô	Kanapell.
Dépôt de Blois	de Lamorandière.
Dépôt de Lamballe	Guépin.
Dépôt de Pompadour	Lafollye.
Dépôt de Pau	Lévy.
Dépôt de Perpignan	Vignol.
Dépôt de Cluny	Giroud.
Dépôt d'Aurillac	Aiguesparse.
Dépôt d'Annecy	Ruphy.

	MM.
Dépôt de Rodez	Pons.
Dépôt de Montier-en-Der	Descaves.
Dépôt d'Angers	Chesneau.
Dépôt de Besançon	Ducas.
Dépôt de Rosières	Morey.
Dépôt d'Hennebont	Halouis.
Dépôt de Compiègne	Thierry.
Dépôt de Libourne	Labbé.
Dépôt de Villeneuve-sur-Lot	Gilles.
Dépôt de La Roche-sur-Yon	Loquet.
Dépôt de Tarbes	Larrieu.
Dépôt de Saintes	Rullier.

PALAIS NATIONAUX.

Palais des Tuileries	Lefuel.
Palais du Louvre	*Idem.*
Palais-Royal	Chabrol.
Manufacture des Gobelins	*Idem.*
Palais du Luxembourg	Gondoin.
Palais de l'Élysée	Debressenne.
Écuries de l'Alma	*Idem.*
Magasins du mobilier national	*Idem.*
Palais de Versailles	Guillaume.
Palais de Trianon	*Idem.*
Château de Rambouillet	Joly.
Bergerie de Rambouillet	*Idem.*
École de Grignon	*Idem.*
Palais de Fontainebleau	Boitte.
Palais de Compiègne	Thierry.
Parterre et terrasse de Saint-Germain	Lafollye.
Château de Pau	Lévy.
Château de Saint-Cloud	Desbuisson.
Manufacture de Beauvais	Auxcousteaux.

OPÉRA NATIONAL.

Un carton de photographies.

Un décret du 29 septembre 1860 ayant déclaré d'utilité publique la construction d'une nouvelle salle d'opéra, un concours public fut ouvert par arrêté du 29 décembre suivant. Ce concours devait être clos le 31 janvier 1861.

Le 1er juin 1861, le projet de M. Charles Garnier fut choisi à l'unanimité.

L'architecte se mit immédiatement à l'œuvre.

La pose de la première pierre apparente eut lieu le 21 juillet 1862.

La marche des travaux, ralentie d'abord pendant la première année par les difficultés inattendues de l'épuisement des eaux, et pendant les années 1870-71 par les événements politiques, reçut une vive impulsion après l'incendie de la salle de la rue Le Peletier (28 octobre 1873).

L'inauguration de la nouvelle salle eut lieu le 5 janvier 1875.

La surface du nouvel Opéra est de 11 237m,75; le cube est de 428 664mc.

La dépense a atteint le chiffre d'environ 35 millions, non compris la valeur du terrain.

La salle contient 2 100 places.

L'architecte, en même temps qu'il employait pour son œuvre les matériaux les plus beaux et les plus solides (les marbres, les granits, les émaux, les mosaïques, les bronzes, etc.), a fait appel, pour l'aider dans son œuvre décorative, aux artistes les plus habiles.

Pour la sculpture :

MM. Carpeaux, Guillaume, Jouffroy, Perraux, Chapu, Dubois, Falguière, Gumery, Ollivier Cabet, Moreau, etc.

Pour la peinture :

MM. Baudry, Barrias, Delaunay, Pils, Lenepveu, Gustave Boulanger, etc.

Depuis l'inauguration de l'Opéra, le Ministère des travaux publics a fait terminer les travaux de la galerie du *Glacier* et fait convertir en salle de bibliothèque et de musée toute la partie centrale de la façade latérale Ouest, où de grands salons avaient été réservés pour le chef de l'État.

Cette bibliothèque, de même que le musée des dessins, costumes et maquettes, seront prochainement ouverts au public.

COUR DE CASSATION.

Un carton de photographies.

Le tribunal de cassation, institué les 12 et 20 août 1790, vint prendre possession au Palais de justice des locaux que la cour occupe à peu près aujourd'hui, et qui n'étaient autres que ceux de l'ancien Parlement de Paris.

Pendant la Terreur, le tribunal de cassation siégea dans les bâtiments de l'École de droit; mais, le 6 messidor an III, il fut réintégré dans son ancien local, et un décret du 8 floréal an XII lui donna la dénomination définitive de *Cour de cassation.*

L'espace qui lui était affecté étant insuffisant dans les bâtiments du Palais de justice, la cour fut agrandie en 1828, sur les plans de M. Huyot, architecte, et augmentée d'une troisième chambre.

A la mort de M. Huyot, M. Alphonse de Gisors, qui le remplaça, fit exécuter divers travaux assez importants, au nombre desquels on peut signaler la restauration de la galerie dite *de Saint-Louis.*

En 1836, M. Le Normant fut appelé à remplacer M. de Gisors.

C'est cet architecte qui a dressé le projet de reconstruction de la Cour de cassation, et dont les dispositions ont été complétées depuis par M. Duc, qui lui a succédé le 15 janvier 1862.

En 1870, la chambre des requêtes, les cabinets réservés aux magistrats et aux avocats, le greffe et la bibliothèque étaient livrés à la cour.

Pendant les événements de 1871, une partie du Palais de justice fut incendiée, et notamment les bâtiments de la Cour de cassation en façade sur le quai.

Il fallut les reconstruire, et l'évaluation de la dépense, fixée primitivement à 3 812 178 francs, fut portée à 6 500 000 francs.

En 1877, les parties incendiées, après avoir été remises en état, furent de nouveau livrées à la cour, en même temps que la chambre criminelle.

Il a été dépensé successivement, jusqu'à ce jour, une somme totale de 6 millions.

Il ne reste plus aujourd'hui qu'à terminer l'aménagement et la décoration de la grand'chambre et de ses dépen-

dances; ce travail est confié à M. Coquart, architecte, successeur de M. Duc, décédé en 1879.

BIBLIOTHÈQUE NATIONALE.

Un carton de photographies.

La Bibliothèque nationale occupe aujourd'hui l'emplacement du grand palais Mazarin, dans lequel elle a été placée par le Régent en 1721.

L'origine de la Bibliothèque remonte aux premiers temps de la monarchie française. Néanmoins, on peut considérer Charles V comme son véritable fondateur. Ses successeurs augmentèrent le fonds royal qui, d'abord placé au Louvre, fut transporté à Blois sous Louis XII, et à Fontainebleau sous François Ier.

Sous le règne de Henri IV, augmentée dans des proportions importantes, la Bibliothèque fut installée au collège de Clermont, puis au couvent des Cordeliers. Elle s'enrichit de nombreux imprimés et manuscrits pendant les règnes de Louis XIII et de Louis XIV, et Colbert la fit placer dans les maisons voisines de son hôtel de la rue Vivienne; enfin, pendant la minorité de Louis XV, elle fut définitivement installée au palais Mazarin, où Robert de Cotte fut chargé de faire d'importants travaux.

Les obligations du dépôt légal, qui fait arriver à la Bibliothèque tout ouvrage imprimé en France, l'annexion de nombreuses bibliothèques particulières, et surtout, pendant la première République, les dépôts à la Bibliothèque des

livres des établissements religieux, rendirent insuffisant le local qu'elle occupait.

A différentes reprises il a été question de reconstruire la Bibliothèque sur un autre emplacement, mais cette idée a été abandonnée, et l'agrandissement sur place a paru préférable.

Par ordre du Gouvernement, M. H. Labrouste, qui avait construit avec le plus grand succès la bibliothèque Sainte-Geneviève, place du Panthéon, fut chargé d'étudier les plans d'agrandissement, et leur exécution, commencée en 1858, est aujourd'hui en grande partie terminée.

Les constructions comprennent tout cet ensemble de bâtiments qui s'étend de la rue Neuve-des-Petits-Champs à la rue Colbert en faisant retour sur chacune de ces deux rues.

Dans ces constructions, outre les grands magasins affectés aux imprimés, se trouve installée une grande salle centrale communiquant directement avec la salle de travail et dans laquelle sont placés plus de 800 000 volumes.

Quant à la salle de travail, les dispositions en sont des plus remarquables, et elle est certainement un des plus élégants spécimens de construction en fer exécutés jusqu'ici.

M. Labrouste a également fait exécuter la partie des bâtiments en façade sur la place Louvois; mais il est mort en 1875, avant d'avoir entièrement achevé son œuvre.

Il a été remplacé par M. Pascal, ancien grand prix de Rome, qui a terminé les aménagements intérieurs du bâtiment en façade sur la place Louvois, dirigé la construction, sur des plans étudiés par lui, du corps de bâtiment en façade sur la rue Colbert. En ce moment, cet architecte com-

mence la restauration du bâtiment, au fond de la cour d'honneur, dans lequel doit être établie la grande salle de lecture publique.

L'ensemble de ces travaux a entraîné jusqu'à ce jour une dépense de 22 millions environ.

Malgré tous ces agrandissements et améliorations successivement apportés aux constructions de la Bibliothèque, l'espace manque, et il est à prévoir que, avant peu, il deviendra indispensable d'agrandir encore les bâtiments.

D'autre part, la nécessité de les isoler complètement des maisons voisines s'impose chaque jour davantage : non seulement on trouverait sur l'emplacement de ces immeubles qui occupent l'angle des rues Colbert et Vivienne, de vastes espaces, mais en les réunissant à la Bibliothèque on conjurerait les dangers d'incendie dont elle est continuellement menacée par les nombreuses industries qui occupent ces maisons.

En ce moment un projet de loi est déposé à la Chambre des députés pour obtenir les fonds nécessaires à l'acquisition de ces immeubles, et il y a lieu d'espérer que cette question, qui préoccupe si vivement le monde savant, sera bientôt résolue.

PALAIS DES TUILERIES.

PAVILLONS DE FLORE ET DE MARSAN.

Un carton de photographies.

Dans cette notice, nous ne parlerons pas du palais même des Tuileries, détruit par l'incendie en 1871 et qui n'a pas

été restauré, tandis que les pavillons de Flore et de Marsan, incendiés à la même époque, l'un en partie, l'autre en totalité, ainsi que les galeries qui les relient au palais du Louvre, ont été restaurés ou reconstruits depuis 1871.

Le pavillon de Flore et la galerie qui le suit ont été commencés sous le règne de Henri IV, de 1595 à 1608, par Ducerceau.

Cette partie des Tuileries n'a été habitée que passagèrement, ainsi, du reste, que le palais même, par les différents rois qui se sont succédé; ce n'est qu'à partir du règne de Napoléon Ier que les Tuileries ont été entièrement occupées par les souverains et leurs maisons. La galerie qui relie le pavillon de Flore au Louvre a fait, pendant de longues années, partie intégrante du Musée du Louvre; mais, comme elle avait été fondée, ainsi que le pavillon de Flore, sur un mauvais sol, il s'était produit, dès les premières années de ce siècle, un affaissement des bâtiments du côté du quai; on tenta de consolider la construction par des chaînages en fer, mais le mouvement de devers n'en continua pas moins, et, en 1861, il fut décidé que cette galerie, ainsi que le pavillon de Flore, seraient reconstruits. Ces travaux ont été exécutés par M. Lefuel, architecte, sur de nouveaux plans, de 1861 à 1869, et ont entraîné une dépense de 15 millions de francs environ.

En 1871, ces constructions, qui venaient d'être terminées, ont été fortement endommagées par l'incendie; depuis, elles ont été restaurées et elles sont actuellement occupées, à titre provisoire, par la Préfecture de la Seine.

Quant au pavillon de Marsan, il fut originairement construit, sous Louis XIV, par l'architecte Levau, et la galerie

à la suite, sur la rue de Rivoli, fut élevée par les architectes Percier et Fontaine, sous le règne de Napoléon Ier.

Ces parties du palais ont été occupées successivement dans les mêmes conditions que le pavillon de Flore, et, en 1871, elles ont été complètement détruites par l'incendie.

Les travaux de reconstruction ont été immédiatement entrepris, sous la direction de M. Lefuel, et, aujourd'hui, le gros œuvre extérieur est entièrement terminé.

Les principales sculptures d'art des deux pavillons de Flore et de Marsan ont été exécutées par MM. Carpeaux, Cavelier, Crauck, Bonassieux, Barrias, Delaplanche, etc.

ÉCOLE DES BEAUX-ARTS.

Un carton de photographies.

L'École des beaux-arts occupe une partie de l'emplacement de l'ancien couvent des Petits-Augustins.

Ce couvent avait été affecté, en 1790, au Musée des monuments français, et ce n'est qu'en 1816 que l'École des beaux-arts y fut définitivement installée; jusqu'à cette époque, les leçons et les concours avaient lieu dans les bâtiments mêmes de l'Institut.

Les premières constructions destinées aux divers services ont été exécutées par M. Debret, architecte, et le Ministre de l'intérieur en posa la première pierre le 3 mai 1820.

En 1833, M. Dubau, architecte, succéda à M. Debret et compléta l'École telle qu'elle existe actuellement. Il est l'au-

teur du palais situé au fond de la cour d'honneur et dans lequel sont aménagées, au rez-de-chaussée, des galeries d'exposition, des modèles d'après l'antique, et, au premier étage, les vastes locaux occupés par la bibliothèque.

C'est également sous la direction et d'après les plans de M. Dubau qu'ont été construits les bâtiments en façade sur le quai Malaquais et dans lesquels se trouvent la grande salle d'exposition, dite *salle Melpomène*, et un autre grand local, au premier étage, également affecté aux expositions.

Pour augmenter la surface des galeries des modèles, la cour intérieure du palais a été couverte d'un vitrage et convertie en une vaste salle, dans laquelle on a réuni les plus beaux spécimens de la sculpture et de l'architecture antiques. Ce travail a été commencé par M. Dubau, qui mourut en 1870, laissant son œuvre inachevée. Elle a été terminée avec le plus grand succès par M. Coquart, architecte, ancien grand prix de Rome, qui a succédé à M. Dubau comme architecte de l'École.

M. Coquart a, depuis l'achèvement de cette cour vitrée, restauré la chapelle de l'ancien couvent des Petits-Augustins pour y installer le musée de la Renaissance, et cette partie de l'École est aujourd'hui une des plus intéressantes par les soins et le goût qui ont présidé à son aménagement.

Ces améliorations et agrandissements successifs sont loin d'avoir donné satisfaction à tous les besoins de l'École. Le nombre des élèves augmente chaque année; de nouveaux cours sont créés; les ateliers deviennent insuffisants; les salles de concours et le bâtiment des loges ne sont plus en rapport avec les besoins de l'enseignement. Aussi le Gouvernement a-t-il fait étudier par M. Coquart un projet d'agran-

dissement qui est soumis en ce moment à l'examen et à l'approbation du Parlement.

L'exécution de ce projet, qui comprend l'expropriation de plusieurs maisons et la construction de vastes locaux où l'on réunirait tout le service de l'enseignement permettrait de consacrer aux galeries des modèles tous les anciens bâtiments de l'École.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

Un carton de photographies.

Le Conservatoire des arts et métiers, institué par décret de la Convention nationale en date du 19 vendémiaire an III, occupe, depuis le 12 germinal an VII, les bâtiments du prieuré de Saint-Martin-des-Champs; cet établissement, limité à l'Est par la rue Vaucanson, a été entouré jusqu'en 1862, sur ses trois autres côtés, par des maisons particulières qui en arrêtaient le développement et présentaient, en même temps, un danger permanent d'incendie pour les précieuses collections qu'il renferme.

Sur la demande du Gouvernement, un projet a été dressé en 1860 par M. Vaudoyer, architecte du Conservatoire, et l'exécution des travaux d'isolement et d'agrandissement a été commencée en 1862.

L'expropriation des maisons rues Saint-Martin et Réaumur et la continuation des bâtiments sur l'emplacement des immeubles expropriés étaient évaluées à la somme de 8 millions de francs; et, en effet, les expropriations ont en-

traîné une dépense de 4 500 000 francs, et les constructions 3 500 000 francs.

Aujourd'hui l'édifice est complètement isolé sur la rue Saint-Martin, et en partie sur la rue Réaumur; des bâtiments renfermant des laboratoires, un amphithéâtre, le portefeuille industriel et des logements pour le personnel de l'administration, ont été élevés sur ces deux rues et sont maintenant livrés au service du Conservatoire.

M. Vaudoyer, décédé le 9 février 1872, a été remplacé par M. Ancelet, ancien grand prix de Rome, qui a continué les bâtiments jusqu'à la rue du Vert-Bois; mais là se terminait la première partie des opérations entreprises à l'aide du crédit de 8 millions de francs ci-dessus indiqué.

Pour continuer les opérations d'isolement et d'agrandissement de l'édifice, il faudrait acheter les maisons sises rue du Vert-Bois et rue de Breteuil, et les remplacer par des constructions destinées à de nouvelles galeries.

Le Conservatoire des arts et métiers serait alors complètement isolé et présenterait un ensemble des plus remarquables, comprenant de nombreuses galeries, où tous les modèles de machines industrielles et agricoles se trouveront réunis; des amphithéâtres pour les cours; une bibliothèque de plus de 20 000 volumes, ouverte le jour et le soir au public, le service du portefeuille où sont conservés les dessins de toutes les machines, les brevets d'invention et les marques de fabrique; il comprendrait enfin l'Institut agronomique, école supérieure d'agriculture instituée par une loi du 9 août 1876, placée provisoirement dans les bâtiments sur la rue Réaumur et pour laquelle une installation plus large est projetée dans les nouveaux bâtiments.

PALAIS DU TROCADÉRO.

Un carton de photographies.

Le palais du Trocadéro est situé sur le coteau de Chaillot faisant face à la Seine, à l'Ouest de Paris.

Il a été construit à l'occasion de l'Exposition universelle de 1878, par MM. Davioud et Bourdais.

Il couvre une surface d'environ 14 500 mètres carrés.

Il a coûté environ 9 millions 1/2, soit au mètre carré 650 francs.

Il comprend : un bâtiment central renfermant une grande salle des fêtes et concerts, de 50 mètres de diamètre, d'un seul tenant, et des galeries de promenade et d'exposition;

Puis, à droite et à gauche, des pavillons, dits *de conférences*, de 25 mètres sur 15 mètres, au rez-de-chaussée desquels sont disposés deux vestibules principaux servant d'entrée au palais;

A la suite, deux longues ailes curvilignes contenant des galeries d'exposition, mesurant chacune 170 mètres de longueur;

Enfin, aux extrémités, deux pavillons de tête.

La déclivité du sol a permis de ménager, sous ces derniers pavillons, des entrées spéciales donnant accès sur le jardin.

Devant les galeries des ailes est disposé un portique servant de promenade.

De cette galerie on domine le côté Ouest de Paris.

Ce palais, commencé le 1er novembre 1876, fut livré au service de l'Exposition le 1er mai 1878.

CHÂTEAU DE PIERREFONDS.

Un carton de photographies.

La restauration du château de Pierrefonds a été entreprise en 1858, par ordre du chef de l'État; M. Viollet-le-Duc, l'habile et érudit architecte des monuments historiques, a été chargé des travaux de restauration de cet édifice.

Cette restauration, une fois terminée, coûtera 5 millions.

Jusqu'en 1870, plus de 4 millions ont été dépensés et payés, pour les trois quarts environ, sur les fonds de la liste civile, et, pour un quart, sur les crédits affectés à la restauration des monuments historiques.

Ce château, l'un des spécimens les plus complets et les plus curieux de l'architecture féodale du moyen âge, date des premières années du XIVe siècle.

C'est Louis, duc d'Orléans, frère du roi Charles VI, qui le fit construire.

Ce qui attire particulièrement l'attention dans cette magnifique résidence, c'est le système de défense adopté à la fin du XIVe siècle. L'artillerie à feu, seule, pouvait avoir raison de cette forteresse.

Elle fut, en effet, détruite en partie par ce moyen en 1616, pendant un siège; un an après, elle fut entièrement démantelée par l'ordre du gouvernement de Louis XIII.

Pendant la Révolution, le château de Pierrefonds fut vendu comme bien national.

En 1813, Napoléon Ier le racheta et le fit rentrer dans les dépendances de la forêt de Compiègne.

Les travaux de déblayement et de restauration ont été entrepris, comme il a été dit plus haut, au commencement de 1858. Le donjon, le château et toutes les défenses extérieures ont repris, à peu près, leur aspect primitif.

L'œuvre confiée à M. Viollet-le-Duc peut donc être considérée comme presque terminée. Il ne reste à exécuter que quelques travaux de maçonnerie et de terrassement des abords du château et de relèvement de constructions extérieures.

Depuis la mort de M. Viollet-le-Duc, ces travaux sont continués par M. Ouradou, son gendre, architecte des monuments historiques.

CHÂTEAU DE SAINT-GERMAIN-EN-LAYE.

Un carton de photographies.

Aux termes d'un décret du 8 mars 1862, il a été décidé que le château de Saint-Germain-en-Laye serait restauré et approprié pour recevoir un musée gallo-romain, et, à dater de cette époque, les travaux de restauration de ce remarquable édifice ont été entrepris.

Suivant les historiens de la ville de Saint-Germain, c'est à partir du XIIe siècle que les rois de France auraient choisi ce château pour résidence. Depuis Philippe-Auguste jusqu'à

Louis XIV, il a été habité, sinon d'une façon constante, du moins à des intervalles assez rapprochés. Saint Louis y fit construire la belle et curieuse chapelle située sur la façade méridionale et dont la restauration est presque terminée aujourd'hui.

Mais c'est réellement sous le règne de François Ier que le château de Saint-Germain prit le développement et l'importance que l'on retrouve dans les bâtiments nouvellement restaurés.

Louis XIV fit ajouter les cinq gros pavillons qui existaient encore avant l'entreprise des travaux de restauration. La construction de ces pavillons ayant mis le roi dans la nécessité de quitter le château, il l'abandonna définitivement en 1682 pour aller habiter Versailles.

En 1809, Napoléon Ier y fit installer une école de cavalerie.

En 1836, le château recevait le pénitencier militaire, qui fut conservé jusqu'en 1855, époque où le vieux château historique rentra dans les attributions du Ministère d'État.

Lorsqu'il s'est agi de commencer les travaux, M. Millet, architecte, chargé de l'étude du projet de restauration, a soulevé la question de savoir s'il fallait réédifier le château tel qu'il était sous François Ier ou bien comprendre dans la restauration les pavillons ajoutés sous le règne de Louis XIV.

Une commission, présidée par le Ministre d'État, a été unanime à penser que l'édifice devait être restauré suivant le caractère qu'il avait à l'époque de François Ier, et que, en conséquence, les pavillons ajoutés sous le règne de Louis XIV seraient démolis.

Cette commission a en outre donné son approbation complète au projet de M. Millet.

Depuis 1862 jusqu'au 31 décembre 1879, il a été dépensé une somme de 2 608 000 francs.

M. Millet a suivi pour ses travaux le mode qui était employé par les architectes de la Renaissance; tous les matériaux sont complètement taillés et sculptés sur le sol avant leur pose.

Malheureusement cet éminent artiste est mort avant d'avoir pu terminer son œuvre.

En 1879, M. Lafollye, architecte des monuments historiques, a succédé à M. Millet, et c'est lui qui termine les intéressants travaux de restauration du château de Saint-Germain-en-Laye.

Aujourd'hui, les façades Nord et Est sont complètement achevées, et les salles de cette partie des bâtiments sont livrées au service du musée gallo-romain.

La façade Sud est en grande partie restaurée, comme gros œuvre, ainsi que la chapelle de Saint-Louis.

Il ne reste plus qu'à terminer cette façade et à attaquer la façade Ouest, à laquelle il n'a encore été fait aucun travail de restauration.

Cours, documents de l'École des Ponts et Chaussées et de l'École des Mines, et ouvrages relatifs à l'art de l'ingénieur, édités par M. Dunod, libraire des Corps des Ponts et Chaussées et des Mines.

Pour l'*École des Ponts et Chaussées*, voir page 335.

Pour l'*École des Mines*, voir page 441.

TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE PARTIE.

PONTS ET CHAUSSÉES.

PREMIÈRE SECTION.

ROUTES ET PONTS.

Pages.

I. Pont des Andelys, sur la Seine 1
II. Pont de Claix, sur le Drac 6
III. Fondations du pont de Collonges, sur le Rhône. 13
IV. Pont de Port-Boulet, sur la Loire 22

DEUXIÈME SECTION.

SERVICE HYDRAULIQUE.

V. Barrage du Pas-de-Riot, sur le Furens 28
VI. Canal d'irrigation du Verdon 35
VII. Réservoir du lac d'Orédon et distribution des eaux de la Neste 47
VIII. Travaux d'assainissement et de mise en valeur des landes de Gascogne 57

TROISIÈME SECTION.

NAVIGATION INTÉRIEURE.

(RIVIÈRES ET CANAUX.)

Pages.

IX. Canal de l'Est..... 62
X. Travaux d'endiguement de la Seine maritime..... 80

QUATRIÈME SECTION.

TRAVAUX MARITIMES.

XI. Port de Marseille..... 90
XII. Port de Bordeaux. Bassin à flot..... 106
XIII. Port de Saint-Nazaire..... 126
XIV. Port du Havre..... 153

CINQUIÈME SECTION.

PHARES ET BALISES.

XV. Phare des Triagoz..... 182
XVI. Phare de la Croix..... 188
XVII. Phare des Roches-Douvres..... 192
XVIII. Phare du Four..... 199
XIX. Phare d'Ar-Men..... 210
XX. Tour de Lavezzi..... 223
XXI. Phare du Planier..... 232
XXII. Appareil pour phare électrique..... 237
XXIII. Appareil de second ordre du phare du Pilier. Nouveau profil..... 244
XXIV. Appareil pour signaux de marée pendant la nuit..... 250
XXV. Mémoire sur l'éclairage et le balisage des côtes de France.. 256
XXVI. Mémoire sur l'intensité et la portée des phares..... 257
XXVII. État de l'éclairage et du balisage des côtes de France..... 258
XXVIII. Médaille commémorative..... 261

SIXIÈME SECTION.

CHEMINS DE FER.

Pages.

XXIX. Viaduc de Pompadour..... 263
XXX. Viaduc de l'Erdre..... 271
XXXI. Viaduc de Vezouillac..... 276
XXXII. Viaduc de l'Altier..... 284
XXXIII. Viaduc sur l'Ain, près du village de Cize..... 290
XXXIV. Pont de Port-Sainte-Marie, sur la Garonne..... 298

SEPTIÈME SECTION.

DOCUMENTS GÉNÉRAUX ET OBJETS DIVERS.

XXXV. Direction générale des chemins de fer. Statistique centrale des chemins de fer..... 307
XXXVI. Direction des cartes et plans et de la statistique graphique. Cartes et documents statistiques..... 311
I. Carte nationale au $\frac{1}{200000}$. Atlas statistique des cours d'eau, des usines et des irrigations..... 311
II. Voies de communication de la France..... 317
III. Album de statistique graphique de 1879 à 1880. 319
IV. Atlas des canaux de la France..... 322
V. Bulletin du Ministère des travaux publics; statistique et législation comparée..... 326
VI. Nivellement général de la France..... 328
XXXVII. École nationale des Ponts et Chaussées..... 335
XXXVIII. Méthodes graphiques pour l'expression des lois naturelles à trois variables; leur application à l'art de l'ingénieur et à la résolution des équations numériques de tous les degrés..... 350
XXXIX. Tableau graphique des heures du lever et du coucher du soleil en un point quelconque du globe terrestre et à une époque quelconque de l'année..... 420
XL. Atlas des ports de France..... 424
XLI. Les Travaux publics de la France..... 426
XLII. Collection de photographies..... 427

DEUXIÈME PARTIE.

MINES.

Pages.

XLIII. Direction des Mines..... 431
I. Carte géographique et statistique de la production minérale de la France en 1876..... 431
II. Représentation graphique :
1° Du développement de l'industrie houillère en France depuis 1811..... 437
2° De la production des fers, des fontes et des aciers en France depuis 1819..... 438
III. Carte de la production, de la consommation et de la circulation des minéraux en France pendant l'année 1872..... 439
IV. Statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en France et en Algérie (1876-1877-1878)..... 440
XLIV. École nationale des Mines..... 441
XLV. Statistique graphique, par département, des principaux minerais de fer et des gîtes de phosphate de chaux de la France..... 451
XLVI. Géologie expérimentale. Imitation des failles et des joints congénères dans leurs formes, leur parallélisme et leur répartition en systèmes orthogonaux ou conjugués..... 453
XLVII. Questions de géologie synthétique..... 488
A. Unification des travaux géographiques et géologiques. 488
B. Géométrie du réseau pentagonal et sphérodésie graphique..... 493
C. Étude des alignements géologiques et application du réseau pentagonal..... 495
D. Imitation des accidents orographiques du soulèvement..... 501
XLVIII. Notices relatives à la Carte géologique de la France..... 504
Carte géologique générale..... 504
Carte géologique détaillée de la France..... 511
Alpes françaises..... 519

Pages.
Région des Alpes maritimes à l'Est du Var et de la Vésubie. 530
Feuille d'Antibes. 538
Feuille de Givet au $\frac{1}{40000}$. 549
Massif du Cantal au $\frac{1}{40000}$. 552
Étude géologique du massif du Mont-Dore. 555
Bassin tertiaire du Sud-Ouest. 559
XLIX. Minéralogie micrographique. 563
Le pays de Bray. 563
Commission du grisou 564

TROISIÈME PARTIE.

BÂTIMENTS CIVILS ET PALAIS NATIONAUX.

L. Bâtiments civils et palais nationaux. 567
Opéra national. 578
Cour de cassation. 579
Bibliothèque nationale. 581
Palais des Tuileries. 583
École des beaux-arts. 585
Conservatoire des arts et métiers. 587
Palais du Trocadéro. 589
Château de Pierrefonds. 590
Château de Saint-Germain. 591
Cours et documents de l'École des Ponts et Chaussées et de l'École des Mines édités en librairie. 594

R 3 (JJ)
T 10 '613